

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-086193

(43)Date of publication of application : 18.03.2004

(51)Int.Cl.

G02F 1/37
G03F 7/20
H01L 21/027
H01S 3/06

(21)Application number : 2003-189435 (71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 01.07.2003 (72)Inventor : TOKUHISA AKIRA
KITANO HIROSHI
KAWAI HITOSHI

(30)Priority

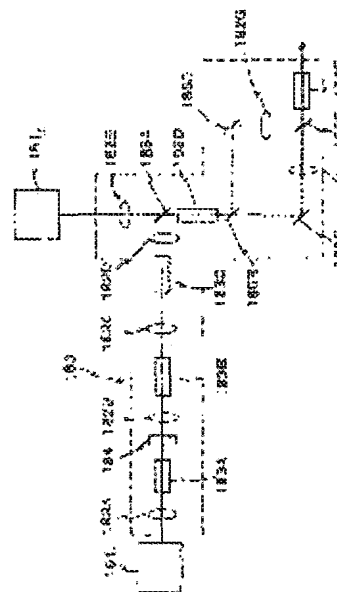
Priority number : 2002197797 Priority date : 05.07.2002 Priority country : JP

(54) LIGHT SOURCE DEVICE AND LIGHT IRRADIATION APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a light source device and a light irradiation apparatus which enhances the efficiency of wavelength conversion and enables the narrowing of the wavelength of outputted light.

SOLUTION: In nonlinear optical crystal 183D, the fundamental wave whose output level is attenuated through several steps of wavelength conversion (the wavelength conversion in nonlinear optical crystals 183A~183C) is not used, but a fundamental wave obtained by the other optical amplifier 1612 is used and, thereby, the wavelength conversions of the respective steps are performed. As a result, the efficiency of wavelength conversion is enhanced, peak powers of optical amplifiers 1611, 1612 are suppressed and, further, the wavelength of the light outputted from the optical amplifiers 1611, 1612 can be narrowed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 01.03.2006

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]

It is light equipment made to generate the light of predetermined wavelength,
Two or more optical output equipments which output the light of different wavelength from said predetermined wavelength;
Light equipment equipped with the wavelength converter which generates the light of said predetermined wavelength by two or more steps of wavelength conversion including the wavelength conversion which makes incident light two light which makes a fundamental wave light outputted from the optical output equipments of each with which it differs of said two or more optical output equipments, and;

[Claim 2]

Said two or more optical output equipments are light equipment according to claim 1 characterized by including two or more equipments which output the light of the same wavelength.

[Claim 3]

It is light equipment according to claim 1 or 2 characterized by for at least one equipment in said two or more optical output equipments being the 1st equipment which outputs the light of the 1st wave, and at least one equipment in said two or more optical output equipments being the 2nd equipment which outputs the light of the 2nd wave from which said light of the 1st wave differs.

[Claim 4]

Wavelength conversion in said wavelength converter,
Light equipment according to claim 3 which carries out incidence of the m time wave (m is the natural number) of the light of the 1st wave outputted from said 1st equipment, and the n time wave (n is the natural number) of the light of the 2nd wave outputted from said 2nd equipment, and is characterized by including the wavelength conversion which generates a wave and said sum cycle of a n time wave said m times.

[Claim 5]

At least one equipment in said two or more optical output equipments is light equipment given in any 1 term of claims 1-4 characterized by being optical fiber amplifier.

[Claim 6]

At least one equipment in said two or more optical output equipments is light equipment given in any 1 term of claims 1-5 characterized by being erbium dope fiber amplifier.

[Claim 7]

At least one equipment in said two or more optical output equipments is light equipment given in any 1 term of claims 1-6 characterized by being ytterbium dope fiber amplifier.

[Claim 8]

The wavelength of the light inputted into said ytterbium dope fiber amplifier is light equipment according to claim 7 characterized by being larger than 1060nm.

[Claim 9]

It is light equipment given in any 1 term of claims 3-8 characterized by for said 1st equipment being an ytterbium dope fiber amplifier, and said 2nd equipment being an erbium dope fiber amplifier.

[Claim 10]

Said wavelength converter is light equipment given in any 1 term of claims 1-9 characterized by

generating light with a wavelength of about 248nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of KrF excimer laser.

[Claim 11]

Said wavelength converter is light equipment given in any 1 term of claims 1-9 characterized by generating light with a wavelength of about 193nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of ArF excimer laser.

[Claim 12]

Said wavelength converter is light equipment given in any 1 term of claims 1-9 characterized by generating light with a wavelength of about 157nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of F2 laser.

[Claim 13]

Said 1st equipment is an ytterbium dope fiber amplifier, and said 2nd equipment is either [at least] a thulium dope fiber amplifier or a HOROMIUMU dope fiber amplifier,

Said wavelength converter is light equipment given in any 1 term of claims 3-5 characterized by generating light with a wavelength of about 193nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of ArF excimer laser.

[Claim 14]

It is light equipment made to generate the light of predetermined wavelength, Ytterbium dope fiber amplifier which amplifies light with a wavelength of about 1099nm and is outputted as a fundamental wave;

Light equipment equipped with the wavelength converter which said fundamental wave is changed [converter] into a wave the 7 times, and generates light with a wavelength of about 157nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of F2 laser, and;

[Claim 15]

It is light equipment made to generate the light of predetermined wavelength, Ytterbium dope fiber amplifier which amplifies light with a wavelength of about 1095nm and is outputted as a fundamental wave;

Light equipment equipped with the wavelength converter which said fundamental wave is changed [converter] into a wave the 3 times, and generates light with a wavelength of about 365nm which is the wavelength and abbreviation same wavelength of i line, and;.

[Claim 16]

It is light equipment made to generate the light of predetermined wavelength, At least one optical output equipment which outputs light with a wavelength of about 1547nm as a fundamental wave;

Light equipment equipped with the wavelength converter for which 3OCsB5 crystal is used as a nonlinear optical element which generates light with a wavelength of about 221nm which is the sum cycle of said fundamental wave and its 6 time wave, and;.

[Claim 17]

Said wavelength converter,

Light equipment given in any 1 term of claims 1-16 characterized by performing wavelength conversion using two or more nonlinear optical elements.

[Claim 18]

It is light equipment according to claim 17 characterized by at least one nonlinear optical element being NH₄H₂PO₄ crystal among said two or more nonlinear optical elements.

[Claim 19]

It is light equipment according to claim 17 or 18 characterized by at least one nonlinear optical element being a false phase matching crystal among said two or more nonlinear optical elements.

[Claim 20]

Light equipment according to claim 19 characterized by using at least one side of KTiOPO₄ crystal and LiNbO₃ crystal as said false phase matching crystal.

[Claim 21]

Light equipment according to claim 19 or 20 characterized by using BaMgF₄ crystal as said false phase matching crystal.

[Claim 22]

Said BaMgF₄ crystal is light equipment according to claim 21 characterized by generating a sum

cycle with the m time wave (m being the natural number) of said fundamental wave and said fundamental wave.

[Claim 23]

Light equipment given in any 1 term of claims 1-22 characterized by inserting some [at least] equipments of said each optical output equipment, and the delay unit which carries out predetermined time delay of the advance of the light inputted into said wavelength converter from the equipment between said wavelength converters.

[Claim 24]

Light equipment given in claims 1-9 to which said predetermined wavelength is characterized by 90nm or more being 800nm or less, and any 1 term of 17-23.

[Claim 25]

It is the light irradiation device which irradiates light at an object,

Light equipment given in any 1 term of claims 1-24;

A light irradiation device equipped with the exposure optical system which turns to said object the light injected from said light equipment, and injects it, and;

[Claim 26]

Said object is a light irradiation device according to claim 25 characterized by being a photo conductor.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

This invention relates to light equipment and a light irradiation device, and relates to light equipment equipped with the wavelength converter which carries out wavelength conversion of the light of the single wavelength emitted from a laser light source in more detail at the light of another wavelength, and a light irradiation device equipped with this light equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art]

From the former, the light irradiation device is used for inspection of the objective fine structure, objective micro processing, the therapy of eyesight correction, etc. For example, at the lithography process for manufacturing a semiconductor device etc., in order to imprint on substrates (suitably henceforth a "substrate" or a "wafer"), such as a wafer with which the pattern formed in the mask or the reticle (it is hereafter named a "reticle" generically) was applied to the resist etc. through projection optics, or a glass plate, the aligner which is a kind of a light irradiation device is used. As such an aligner, the projection aligner of the quiescence exposure mold which adopts a step-and-repeat method, and the projection aligner of the scan exposure mold which adopts step - and - scanning method are mainly used. Moreover, in order to perform ablation on the front face of a cornea (PRK:Photorefractive Keratectomy), or ablation inside a cornea (LASIK:Laser Intrastromal keratomileusis) and to treat myopia, the astigmatism, etc. for eyesight correction, the laser therapeutic device which is a kind of a light irradiation device is used.

[0003]

Many development has been made about the light source which generates the light of short wavelength for this light irradiation device. The direction of development of such a source of short wave Nagamitsu is mainly divided roughly into the following two sorts. One of them is development of the excimer laser whose oscillation wavelength of laser itself is short wavelength, and another is development of the source of short wave Nagamitsu using the harmonic generation of infrared rays or light laser.

[0004]

Among these, if met in the direction of former, the light equipment which uses KrF excimer laser (wavelength of 248nm) is developed, and development of the light equipment which uses ArF excimer laser (wavelength of 193nm) etc. as the light source of short wavelength further is furthered in current. However, a point disadvantageous as light equipment -- the maintenance of laser is complicated and costs serve as a large sum -- in order that these excimer laser may use the fluorine gas which a large-scale thing and treatment take prudence exists.

[0005]

Then, the method of changing the light (infrared light, light) of long wavelength into the ultraviolet radiation of short wavelength more attracts attention as the approach of short-wavelength-izing which met in the direction of latter using the nonlinear optical effect of a nonlinear optical crystal. As light equipment which used this approach, there are some (only henceforth the "conventional example") which were indicated by the international public presentation official report WO 99/46835, for example.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

By the approach of short-wavelength-izing which uses an above-mentioned nonlinear optical crystal, although short wave Nagamitsu's generating effectiveness is determined by the generating effectiveness of the nonlinear optical effect in a nonlinear optical crystal, the generating effectiveness of the nonlinear optical effect becomes high, so that the brightness (the semantics of "peak power" is included) of the object light of the wavelength conversion which carried out incidence is high. For this reason, in order to obtain ultraviolet radiation efficiently, it is necessary to carry out incidence of the infrared light or the light of high brightness to a nonlinear optical crystal. So, in the above-mentioned conventional example, it amplifies with the optical fiber amplifier which has the optical fiber for magnification with which rare earth elements, such as an erbium (Er), were added in the infrared light or the light of single wavelength generated by semiconductor laser etc., and incidence is carried out to a nonlinear optical crystal. In addition, in such an optical fiber amplifier, the optical amplification function is given to the optical fiber for magnification by supplying excitation light to the optical fiber for magnification, exciting the added rare earth elements, and forming the inverted population about the energy level of the outer shell electron of rare earth elements.

[0007]

the technique of the conventional example mentioned above -- like -- a long wave -- in changing merit's light (infrared light, light) into the ultraviolet radiation of short wavelength more, it is performing wavelength conversion using the nonlinear optical effect by the nonlinear optical crystal by generating the 2nd higher harmonic or sum cycle of the incident light. In such a case, there was un-arranging, as shown below.

(1) Although the m time wave (m is the natural number) of a fundamental wave is obtained, when the wave has already been obtained $m-1$ time, the sum cycle of a wave and a fundamental wave was generated $m-1$ time, and the light of desired wavelength has been obtained. Usually, the fundamental wave which has passed the nonlinear optical crystal of a preceding paragraph story, without being changed into a higher harmonic is used for the fundamental wave used when generating this sum cycle. However, the output level is decreasing considerably the fundamental wave which the nonlinear optical crystal of a preceding paragraph story was passed, and even the nonlinear optical crystal of a culmination has reached, and, in such a case, it cannot acquire sufficient wavelength conversion efficiency.

(2) With the wavelength of the fundamental wave used for wavelength conversion, the wavelength in which wavelength conversion is possible will be restricted to the wavelength of a m time wave of a fundamental wave.

[0008]

This invention was made under this situation and the 1st purpose is in offering the light equipment which wavelength conversion efficiency can improve.

[0009]

Moreover, the 2nd purpose of this invention is to offer the light irradiation device which can irradiate the light by which wavelength conversion was carried out efficiently at a body (exposure object).

[0010]

[Means for Solving the Problem]

Invention according to claim 1 is light equipment (16 16') made to generate the light of predetermined wavelength. two or more optical output equipments (161i --) which output the light of different wavelength from said predetermined wavelength 191j; it is light equipment equipped with the wavelength converter (163) which generates the light of said predetermined wavelength by two or more steps of wavelength conversion including the wavelength conversion which makes incident light two light which makes a fundamental wave light outputted from the optical output equipments of each with which it differs of said two or more optical output equipments, and;

[0011]

According to this, in the wavelength converter which changes the light of different wavelength from predetermined wavelength into the light of predetermined wavelength gradually, at least one step of wavelength conversion which makes incident light two light which makes a fundamental wave light

outputted from different optical output equipments of each is performed. With namely, the light which made light outputted from one optical output equipment the only fundamental wave in the light equipment of this invention, and the output level decreased through several steps of wavelength conversion Since wavelength conversion of a whole page story cannot be performed but at least one step of wavelength conversion can be performed using the light which makes a fundamental wave light outputted from other optical output equipments, wavelength conversion efficiency can be improved.

[0012]

Since the fundamental wave acquired from other optical output equipments can be used for wavelength conversion using the fundamental wave after the 2nd step according to the light equipment of this invention, it becomes unnecessary furthermore, to let the output level of the fundamental wave used for the 1st step of wavelength conversion be the high level for using for the wavelength conversion after the 2nd step. Therefore, in the light equipment of this invention, the peak power of the output of the optical output equipment which outputs the fundamental wave used for the 1st step of wavelength conversion, and the optical output equipment which outputs the fundamental wave used for wavelength conversion in other phases can be controlled. If peak power is controlled, wavelength of the light outputted from optical output equipment can be narrow-band-ized further.

[0013]

In this case, suppose said two or more optical output equipments that two or more equipments which output the light of the same wavelength are included like light equipment according to claim 2.

[0014]

In above-mentioned claim 1 or light equipment given in 2 like light equipment according to claim 3 at least one equipment in said two or more optical output equipments It is the 1st equipment (191i) which outputs the light of the 1st wave, and suppose that said light of the 1st wave is at least one equipment in said two or more optical output equipments the 2nd equipment (161j) which outputs a different light of the 2nd wave.

[0015]

Since the light of wavelength other than the m time wave of single wavelength can be made now by making into incident light light which is two from which wavelength differs according to this, the selection range of the wavelength of the light to output can be extended.

[0016]

In this case, wavelength conversion in [like / light equipment according to claim 4] said wavelength converter Incidence of the m time wave (m is the natural number) of the light of the 1st wave outputted from said 1st equipment and the n time wave (n is the natural number) of the light of the 2nd wave outputted from said 2nd equipment can be carried out, and suppose that the wavelength conversion which generates a wave and said sum cycle of a n time wave said m times is included.

[0017]

Moreover, suppose that it is at least one equipment in said two or more optical output equipments optical fiber amplifier like light equipment according to claim 5 in light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 1-4.

[0018]

Of course, as optical output equipment, it is not restricted to an optical fiber amplifier and various amplifiers, such as a stimulated-Raman-scattering amplifier and an induction Brillouin scattering amplifier, can be applied. Moreover, it is also possible the light sources (for example, Nd: YAG laser light source etc.), such as a laser light source, and to be able to use as optical output equipment and to use combining them.

[0019]

Moreover, suppose that it is at least one equipment in said two or more optical output equipments erbium dope fiber amplifier like light equipment according to claim 6 in light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 1-5. In addition, the bandwidth of the wavelength of the light which can be amplified with erbium dope fiber amplifier is 1530nm or more 1600nm or less.

[0020]

Suppose that it is at least one equipment in said two or more optical output equipments ytterbium

dope fiber amplifier like light equipment according to claim 7 in light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 1-6. In addition, the bandwidth of the wavelength of the light which can be amplified with ytterbium dope fiber amplifier is 1030nm or more 1120nm or less.

[0021]

In this case, wavelength of the light inputted into said ytterbium dope fiber amplifier can be enlarged from 1060nm like light equipment according to claim 8. If it does in this way, since ytterbium dope fiber amplifier will operate like 4 level system laser, high power can be obtained.

[0022]

In light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 3-8, like light equipment according to claim 9, said 1st equipment is an ytterbium dope fiber amplifier, and suppose that it is said 2nd equipment an erbium dope fiber amplifier.

[0023]

According to this, by the wavelength converter, since wavelength conversion which makes incident light the n time wave of the m time wave of the fundamental wave which has 1030nm or more wavelength of 1120nm or less, and the fundamental wave which has 1530nm or more wavelength of 1600nm or less can be carried out, the selection range of the wavelength of the light to output can be extended.

[0024]

In light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 1-9, said wavelength converter can be carried out to generating light with a wavelength of about 248nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of KrF excimer laser like light equipment according to claim 10.

[0025]

According to this, when a maintenance etc. replaces with a difficult KrF excimer laser and uses the light equipment of this invention, light with a wavelength of about 248nm can be obtained easily.

[0026]

In light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 1-9, said wavelength converter can be carried out to generating light with a wavelength of about 193nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of ArF excimer laser like light equipment according to claim 11.

[0027]

According to this, when a maintenance etc. replaces with a difficult ArF excimer laser and uses the light equipment of this invention, light with a wavelength of about 193nm can be obtained easily.

[0028]

In light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 1-9, said wavelength converter can be carried out to generating light with a wavelength of about 157nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of F2 laser like light equipment according to claim 12.

[0029]

In light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 3-5 like light equipment according to claim 13 said 1st equipment It is ytterbium dope fiber amplifier. Said 2nd equipment on the other hand, a thulium dope fiber amplifier and a HOROMIUMU dope fiber amplifier come out at least, it is and said wavelength converter can be carried out to generating light with a wavelength of about 193nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of ArF excimer laser.

[0030]

Ytterbium dope fiber amplifier which invention according to claim 14 is light equipment made to generate the light of predetermined wavelength, and amplifies light with a wavelength of about 1099nm and is outputted as a fundamental wave; it is light equipment equipped with the wavelength converter which said fundamental wave is changed [converter] into a wave the 7 times, and generates light with a wavelength of about 157nm which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength of F2 laser, and;

[0031]

Ytterbium dope fiber amplifier which invention according to claim 15 is light equipment made to

generate the light of predetermined wavelength, and amplifies light with a wavelength of about 1095nm and is outputted as a fundamental wave; it is light equipment equipped with the wavelength converter which said fundamental wave is changed [converter] into a wave the 3 times, and generates light with a wavelength of about 365nm which is the wavelength and abbreviation same wavelength of i line, and;.

[0032]

At least one optical output equipment which invention according to claim 16 is light equipment made to generate the light of predetermined wavelength, and outputs light with a wavelength of about 1547nm as a fundamental wave; it is light equipment equipped with the wavelength converter for which 3OCsB5 crystal is used as a nonlinear optical element which generates light with a wavelength of about 221nm which is the sum cycle of said fundamental wave and its 6 time wave, and;.

[0033]

Suppose said wavelength converter that wavelength conversion is performed using two or more nonlinear optical elements like light equipment according to claim 17 in light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 1-16. In this case, suppose at said nonlinear optical element that it is $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ crystal like light equipment according to claim 18.

[0034]

Suppose that it is at least one nonlinear optical element a false phase matching crystal among said two or more nonlinear optical elements like light equipment according to claim 19 in above-mentioned claim 17 or light equipment given in 18. In this case, suppose that at least one side of KTiOPO_4 crystal and LiNbO_3 crystal is used as said false phase matching crystal like light equipment according to claim 20.

[0035]

Moreover, suppose that BaMgF_4 crystal is used for above-mentioned claim 19 or 20 as said false phase matching crystal like light equipment according to claim 21 in the light equipment of a publication. In this case, said BaMgF_4 crystal can be carried out to generating a sum cycle with the m time wave (m being the natural number) of said fundamental wave and said fundamental wave like light equipment according to claim 22. If it does in this way, since the polarization reversal period of a false phase matching crystal can be lengthened as much as possible, manufacture of a false phase matching crystal becomes easy.

[0036]

Suppose that some [at least] equipments of said each optical output equipment and the delay unit to which predetermined time delay of the advance of the light inputted into said wavelength converter from the equipment is carried out between said wavelength converters are inserted like light equipment according to claim 23 in light equipment given in any 1 term of above-mentioned claims 1-22.

[0037]

In light equipment given in above-mentioned claims 1-9 and any 1 term of 17-23, said predetermined wavelength can decide to 90nm or more be 800nm or less like light equipment according to claim 24.

[0038]

the light irradiation device with which invention according to claim 25 irradiates light at an object -- it is -- light equipment given in any 1 term of claims 1-24, and; -- it is a light irradiation device equipped with the exposure optical system which turns to said object the light injected from said light equipment, and injects it, and;.

[0039]

Since the light outputted to any 1 term of claims 1-24 from the light equipment of a publication is irradiated through exposure optical system at an object according to this, the light by which wavelength conversion was carried out efficiently can be irradiated at a body (exposure object).

[0040]

In this case, suppose that it is said object a sensitization body like a light irradiation device according to claim 26. That is, suppose that it is the light irradiation device of this invention an aligner.

[0041]

[Embodiment of the Invention]

<< -- operation gestalt [of ** a 1st]>>

Hereafter, the 1st operation gestalt of this invention is explained based on drawing 1 - drawing 9 .

[0042]

The outline configuration of the aligner 10 which is a light irradiation device concerning the 1st operation gestalt constituted including the light equipment concerning this invention is shown in drawing 1 . This aligner 10 is a scanning aligner of step - and - scanning method.

[0043]

The illumination system to which this aligner 10 changes from light equipment 16 and the illumination-light study system 12, The reticle stage RST holding the reticle R as a mask illuminated by the illumination light IL for exposure from this illumination system (henceforth the "illumination light" or "exposure light"), It has X-Y stages 14 in which Z tilt stage 58 holding the projection optics PL which projects the exposure light IL through Reticle R on the wafer W as a sensitization body, and Wafer W was carried, these control systems, etc.

[0044]

Said light equipment 16 is equipment which outputs ultraviolet pulsed light with a wavelength of 193.4nm (it is [ArF excimer laser light and] the same wavelength mostly). This light equipment 16 is contained in the Embodiment chamber (henceforth a "chamber") 11 to which temperature, a pressure, humidity, etc. were adjusted with high precision with the body of an aligner which consists of the non-illustrated body column in which said illumination-light study system 12, a reticle stage RST, projection optics PL, Z tilt stage 58, X-Y stage 14, and these each part were carried. In addition, although light equipment 16 shall be altogether arranged in a chamber 11 with this operation gestalt, you may be the configuration of preparing in the same stand especially as the illumination-light study system 12 in a chamber 11, the part, for example, the wavelength transducer mentioned later, of light equipment 16, and connecting the wavelength transducer and body section of light equipment 16 with an optical fiber etc.

[0045]

The internal configuration of light equipment 16 is shown to drawing 2 by the block diagram with the main control unit 50 which carries out generalization control of the aligner 10 whole. As shown in drawing 2 , light equipment 16 is equipped with light source section 16A, laser control unit 16B, quantity of light control unit 16C, etc.

[0046]

Said light source section 16A is equipped with the pulsed light generating section 160, optical amplifiers 1611 and 1612, the wavelength transducer 163, the beam monitor device 164, and the optical divider 165 grade.

[0047]

Said pulsed light generating section 160 has laser light source 160A, optical coupler BS1, optical-isolator 160B, electrooptical-modulator (henceforth "EOM") 160C as an optical modulator, etc. In addition, the optical fiber etc. connects optically between each element of a before [from laser light source 160A / the wavelength transducer 163].

[0048]

As said laser light source 160A, the DFB (distribution feedback mold) semiconductor laser of an InGaAsP system with a single wavelength oscillation laser [of about 1.5 micrometers], for example, oscillation wavelength, and a continuous wave output (henceforth "CW output") of 20mW is used here. "DFB semiconductor laser 160A" shall call laser light source 160A suitably for below. Here, instead of the low Fabry-Perot mold resonator of longitudinal-mode selectivity, DFB semiconductor laser 160A completes a diffraction grating in semiconductor laser, and even if it is under what kind of situation, it is constituted so that a single longitudinal-mode oscillation may be carried out. By such laser, in order to carry out a single longitudinal-mode oscillation fundamentally, the oscillation spectral line width is stopped by 0.01 or less pms.

[0049]

In addition, DFB semiconductor laser 160A is usually prepared on a heat sink, and these are contained in the housing. With this operation gestalt, heat regulators (Peltier device etc.) are formed on the heat sink attached to DFB semiconductor laser 160A, and when laser control unit 16B

controls the temperature, it has composition which can control oscillation wavelength (adjustment).

[0050]

As said optical coupler BS1, that whose permeability is about 97% is used. For this reason, by optical coupler BS1, it branches to two, those about 97% progresses toward optical-isolator 160B of the next step, and about remaining 3% carries out incidence of the laser beam from DFB semiconductor laser 160A to the beam monitor device 164.

[0051]

Said beam monitor device 164 contains the energy monitor (illustration abbreviation) which consists of optoelectric transducers, such as a photodiode. The output of this energy monitor is supplied to the main control unit 50 through laser control unit 16B, detects the energy power of a laser beam based on the output of an energy monitor, and controls the quantity of light of the laser beam oscillated by DFB semiconductor laser 160A through laser control unit 16B if needed by the main control unit 50.

[0052]

Said optical-isolator 160B passes only the light of a direction which goes to EOM160C from optical coupler BS1, and prevents passage of the light of the opposite sense. Change, a noise, etc. of the oscillation mode of DFB semiconductor laser 160A resulting from the reflected light (return light) are prevented by this optical-isolator 160B.

[0053]

Said EOM160C is for changing into pulsed light the laser beam (CW light (continuation light)) which passed optical-isolator 160B. The electrooptical modulator (for example, 2 electrode mold modulator) with the electrode structure which performed chirp amendment is used so that the wavelength breadth by the chirp may become small as EOM160C. EOM160C outputs the pulsed light modulated synchronizing with the electrical-potential-difference pulse impressed from quantity of light control unit 16C. In addition, the light pulse train outputted from EOM160C is shorter than the time amount which excitation of the whole alloying element in the optical fiber 175 for magnification in the optical amplifiers 1611 and 1612 mentioned later takes, and if it sees from the magnification operation in the optical fiber 175 for magnification, it can be considered that it is a continuous light. For example, the laser beam oscillated by EOM160C by DFB semiconductor laser 160A is modulated to pulsed light with 1ns [of pulse width], and a repeat frequency of 100kHz (about 10 microseconds of pulse periods). In addition, the value to which a repeat frequency can control the effect of the ASE (Amplified Spontaneous Emission: spontaneous emission light) noise in optical fiber amplifier is chosen.

[0054]

In addition, it is desirable to use together the applied voltage to EOM160C and the supply current control to DFB semiconductor laser 160A, and to perform pulse-ization of output light. In this case, an extinction ratio can be improved. While becoming possible to generate pulsed light with narrow pulse width easily, improving an extinction ratio compared with the case where only EOM160C is used if it does in this way, it becomes possible to control more simply oscillation spacing of pulsed light, initiation, its halt of an oscillation, etc. Moreover, it is also possible to replace with EOM160C and to use an acoustooptic modulator (AOM).

[0055]

Said optical divider 165 divides into two the pulsed light outputted from the pulsed light generating section 160, and outputs it to optical amplifiers 1611 and 1612.

[0056]

Said optical amplifiers 1611 and 1612 amplify the pulsed light from the optical divider 165. The configuration of one optical amplifier 1611 is shown in drawing 3. As shown in this drawing 3, the optical amplifier 1611 is equipped with the optical turnout 166 which distributes the pulsed light from the optical divider 165 to time order periodically, and branches (for example, 128 branching), and the fiber amplifier 167 as two or more optical amplifiers.

[0057]

As shown in drawing 3, the optical fiber amplifier 167 compounded the optical fiber 175 for magnification as a medium for magnification, the semiconductor laser 1781 and 1782 for excitation which generates excitation light (pump light), and an above-mentioned output light and the excitation light of the optical divider 165, and is equipped with the wavelength division multiplex-

ized equipments (Wavelength Division Multiplexer:WDM) 1791 and 1792 which supply a synthetic light obtained in this way to the optical fiber 175 for magnification. Here, the semiconductor laser 1781 for excitation and WDM1791 are used for front excitation, and, on the other hand, the semiconductor laser 1782 for excitation and WDM1792 are used for back excitation. This is aiming at maintenance of the linearity of the rate of optical amplification to whenever [input luminosity], and improvement with the rate of optical amplification.

[0058]

As said optical fiber 175 for magnification, silica glass or phosphate glass is used as a principal member, it has a core and a clad, and the optical fiber with which the erbium (Er) was doped by high density is used for a core. That is, this optical fiber amplifier 167 is an erbium dope fiber optical amplifier.

[0059]

In the optical fiber amplifier 167 constituted as mentioned above, if pulsed light carries out incidence and advances the inside of the core of the optical fiber 175 for magnification through WDM1791 where the excitation light which the semiconductor laser 1781 and 1782 for excitation generated in the optical fiber 175 for magnification is supplied through WDM 1791 and 1792, stimulated emission will occur and pulsed light will be amplified. Since the optical fiber 175 for magnification has a high amplification factor in this optical amplification, the pulsed light of high brightness with the high unity of wavelength is outputted. For this reason, the light of a narrow-band can be obtained efficiently.

[0060]

Said semiconductor laser 1781 and 1782 for excitation generates the light of wavelength shorter than the oscillation wavelength in DFB semiconductor laser 160A as an excitation light. This excitation light is supplied to the optical fiber 175 for magnification through WDM 1791 and 1792, the husks foreign news child of Er is excited by that cause, and the so-called inverted population of an energy level occurs. In addition, the semiconductor laser 1781 and 1782 for excitation is controlled by quantity of light control unit 16C.

[0061]

A part of output branches with each optical fiber amplifier 167, and photo electric conversion is carried out by the optoelectric transducer 171 prepared in each branching edge, respectively. The output signal of these optoelectric transducers 171 is supplied to quantity of light control unit 16C.

[0062]

In quantity of light control-device 16C, feedback control of the drive current of each semiconductor laser 1781 and 1782 for excitation is carried out so that the optical output from each optical fiber amplifier 167 may become fixed (that is, it balances like). It is constituted like [the optical amplifier 1612 of another side] the optical amplifier 1611 mentioned above.

[0063]

In drawing 2 , including two or more nonlinear optical crystals, return and said wavelength converter 163 carry out wavelength conversion of said amplified pulsed light (light of 1546.9 nm wavelength) the 8 times at a higher harmonic, and generate the pulse ultraviolet radiation of the almost same output wavelength (193.4 nm) as ArF excimer laser.

[0064]

The example of a configuration of this wavelength converter 163 is shown in drawing 4 . Here, the example of the wavelength converter 163 is explained based on this drawing 4 . In the wavelength converter 163 of drawing 4 , wavelength conversion is performed in order of a fundamental-wave (1546.9 nm wavelength) ->2 time wave (773.5 nm wavelength) ->3 time wave (515.6 nm wavelength) ->6 time wave (257.8 nm wavelength) ->7 time wave (221.0 nm wavelength) ->8 time wave (193.4 nm wavelength).

[0065]

If this is explained further in full detail, incidence of the fundamental wave of the 1546.9 nm (frequency ω) wavelength outputted from the optical amplifier 1611 will be carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal 183A through condenser lens 182A. In case this fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183A, the twice of the frequency ω of that fundamental wave, i.e., 2 double wave with a frequency of 2ω (wavelength is one half of

773.5nm), occur by the secondary harmonic generation.

[0066]

As the 1st step of this nonlinear optical crystal 183A, 3OLiB5 (LBO) crystal is used and the approach by the temperature control of an LBO crystal and non critical phase matching (Non-CriticalPhase Matching), i.e., NCPM, are used for the phase matching for carrying out wavelength conversion of that fundamental wave at 2 double wave. Since the include-angle gap (Walk-off) with the fundamental wave within a nonlinear optical crystal and the 2nd higher harmonic does not take place, NCPM is efficient, conversion on 2 double wave is possible for it, and its generated 2 double wave is advantageous in order not to receive deformation of the beam by Walk-off, either.

[0067]

As for the fundamental wave penetrated without carrying out wavelength conversion by nonlinear optical crystal 183A, and 2 double wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183A, the half-wave length and one wave of delay is given with the wavelength plate 184 of the next step, respectively. And the polarization direction comes to rotate only a fundamental wave 90 degrees. Thereby, the polarization direction of the fundamental wave and 2 double wave comes to be in agreement. After the fundamental wave and 2 double wave which passed the wavelength plate 184 mind condenser lens 182B, incidence of them is carried out to the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B. As the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B, while for example, an LBO crystal is used, phase matching by NCPM is planned at the temperature to which the LBO crystal differs from the 1st step of nonlinear optical crystal (LBO crystal) 183A. In this nonlinear optical crystal 183B, the 3 time wave (wavelength of 515.6nm) of a fundamental wave is obtained by the sum frequency generation of 2 double wave generated in the 1st step of nonlinear optical crystal 183A, and the fundamental wave which penetrated that nonlinear optical crystal 183A, without carrying out wavelength conversion.

[0068]

Next, incidence of the 3 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183B is carried out to the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C through condenser lens 182C. And in case a wave passes along the 3rd step of this nonlinear optical crystal 183C these 3 times, a 6 times [6omega (wavelength is one sixth of 257.8nm)], i.e., frequency, as many 6 time wave as the frequency omega of a fundamental wave occurs by the secondary harmonic generation of a wave those 3 times. As the 3rd step of this nonlinear optical crystal 183C, 2Obeta-BaB 4 (BBO) crystal or 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used, for example.

[0069]

It is reflected by dichroic-mirror 185A after passing condenser lens 182D, and the 6 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183C is outputted from an optical amplifier 1612, is compounded by the fundamental wave of 1546.9 nm (frequency omega) wavelength and the same axle which passed condenser lens 182E, and carries out incidence to the 4th step of nonlinear optical crystal 183D.

[0070]

6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. In this nonlinear optical crystal 183D, a wave (wavelength of 221.0nm) is obtained 7 times by the sum frequency generation of a fundamental wave and a 6 time wave. In the above-mentioned configuration, it is also possible to use 3OCsB5 (CBO) crystal instead of CLBO crystal 183D for wave generating 7 times.

[0071]

The 7 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183D and the fundamental wave which penetrated it are separated by dichroic-mirror 185B. It is reflected by mirror 185C, and the fundamental wave which penetrated this passes condenser lens 182F, and results in dichroic-mirror 185E. And it is reflected by mirror 185D, and the 7 time wave reflected by dichroic-mirror 185B passes condenser lens 182G, and results in dichroic-mirror 185E. And the fundamental wave and 7 time wave are compounded by the same axle by dichroic-mirror 185E, and carry out incidence to the 5th step of nonlinear optical crystal 183E. In addition, it is also possible to use a cylindrical-lens pair instead of condenser lens 182G as an object for beam plastic surgery of a wave 7 times.

[0072]

As the 5th step of nonlinear optical crystal 183E, 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used and a wave (wavelength of 193.4nm) is obtained 8 times by the sum frequency generation of a fundamental wave and a 7 time wave. In the above-mentioned configuration, it is also possible to use 4OLiB7 (LB4) crystal instead of CLBO crystal 183E for 8 time wave generating.

[0073]

In the wavelength converter 163 constituted as mentioned above, the light of the 193.4 nm target wavelength is obtained by carrying out wavelength conversion of the fundamental wave (1546.9 nm wavelength) amplified by optical amplifiers 1611 and 1612 in five steps.

[0074]

Return and said illumination-light study system 12 equip drawing 1 with the illuminance equalization optical system containing an optical integrator, the relay lens, the adjustable ND filter, the reticle blind, the dichroic mirror, etc. (all are un-illustrating). Here, as an optical integrator, a fly eye lens, internal reflection mold integrators (rod integrator etc.), or a diffracted-light study component is used. The configuration of such an illumination-light study system 12 is indicated by JP,6-349701,A etc. The exposure light IL injected from this illumination-light study system 12 illuminates lighting field 42R of the rectangle on the reticle R held on the reticle stage RST by uniform illumination distribution through a condensing lens 32, after an optical path is bent by Mirror M at a perpendicular lower part.

[0075]

Reticle R is laid on said reticle stage RST, and adsorption maintenance is carried out through the non-illustrated vacuum chuck etc. A reticle stage RST is scanned by the reticle stage mechanical component 49 in the predetermined stroke range in a scanning direction (it considers as Y shaft orientations which are space longitudinal directions of drawing 1 here) while it can be driven minute in a horizontal plane (XY flat surface). The location and rotation of a reticle stage RST under this scan are measured by external laser interferometer 54R through migration mirror 52R fixed on the reticle stage RST, and the measurement value of this laser interferometer 54R is supplied to a main control unit 50.

[0076]

In addition, the quality of the material used for Reticle R is defined with the wavelength of the exposure light IL. That is, like this operation gestalt, when the exposure light outputted from light equipment 16 is light with a wavelength of 193nm, it can use synthetic quartz, but as mentioned later, when the exposure light outputted from light equipment 16 is light with a wavelength of 157nm, it is necessary to form with a fluorite, the synthetic quartz with which the fluorine was doped, or Xtal.

[0077]

said projection optics PL -- for example, a both-sides tele cent -- it is a rucksack contraction system and consists of two or more lens elements which have the optical axis AX of common Z shaft orientations. Moreover, as this projection optics PL, things, such as 1/4, 1/5, and 1/6, are used for the projection scale factor beta. For this reason, if it carries out and lighting field 42R on Reticle R is illuminated by the exposure light IL like the above-mentioned, contraction projection of the pattern formed in that reticle R will be carried out by projection optics PL for the projection scale factor beta, and that image will be imprinted by exposure field 42W of the shape of a slit on the wafer W with which the resist (sensitization agent) was applied to the front face.

[0078]

The two-dimensional drive of said X-Y stage 14 is carried out at X shaft orientations (the space rectangular cross direction in drawing 1) which intersect perpendicularly with Y shaft orientations and this which are a scanning direction by the wafer stage mechanical component 56. On Z tilt stage 58 carried on this X-Y stage 14, Wafer W is held by vacuum adsorption etc. through the wafer holder (un-illustrating). Z tilt stage 58 has the function to adjust the tilt angle of the wafer W to XY flat surface (image surface of projection optics PL) while adjusting the location (focal location) of Z shaft orientations of Wafer W with three actuators (a piezo-electric element or voice coil motor). Moreover, the location of X-Y stage 14 is measured by laser interferometer 54W of the exterior through migration mirror 52W fixed on Z tilt stage 58, and this measurement value of laser interferometer 54W is supplied to a main control unit 50.

[0079]

X migration mirror in which a migration mirror has a reflector perpendicular to the X-axis in fact, and Y migration mirror which has a reflector perpendicular to a Y-axis exist here. Although the thing for the object for X-axis location measurement, the object for Y-axis location measurement, and rotation (amount of yawing, amount of pitching, and amount of rolling are included) measurement also in a laser interferometer is prepared corresponding to this, respectively, these are typically shown by drawing 1 as migration mirror 52W and laser interferometer 54W.

[0080]

On Z tilt stage 58, the reference mark plate FM used in case reticle alignment mentioned later is performed is formed. This reference mark plate FM is arranged so that that front face may serve as the almost same height as the front face of Wafer W. On the front face of this reference mark plate FM, reference marks, such as a reference mark for reticle alignment and a reference mark for baseline measurement, are formed.

[0081]

Moreover, although illustration is omitted in drawing 1 from a viewpoint which avoids complication of a drawing, this aligner 10 is equipped with the reticle alignment system of the image-processing method for performing reticle alignment in fact.

[0082]

When performing alignment of Reticle R, a reticle stage RST and X-Y stage 14 drive through the reticle stage mechanical component 49 and the wafer stage mechanical component 56 with a main control unit 50 first, the reference mark for reticle alignment on the reference mark plate FM is set as the periphery which is the above-mentioned exposure field 42W, and the relative position of Reticle R and Z tilt stage 58 is set up so that the reticle mark image on Reticle R may lap with the reference mark mostly. In this condition, both marks are picturized using a reticle alignment system by the main control unit 50, and the amount of location gaps of X shaft orientations of the projection image of the reticle mark to the reference mark which processes that image pick-up signal in a main control unit 50, and corresponds, and Y shaft orientations is computed. Since the image through projection optics PL will be picturized in the image pick-up of this mark, the light of the almost same wavelength as the wavelength of the exposure light IL is used.

[0083]

Moreover, it is also possible to search for focal offset and leveling offset (the focal location of projection optics PL, image surface inclination, etc.) based on the contrast information included in the detecting signal (picture signal) of the projection image of the reference mark obtained as a result of the alignment of the above-mentioned reticle.

[0084]

Moreover, with this operation gestalt, measurement which used the predetermined mark on the reference mark plate about the amount of base lines of the off-axis alignment sensor by the side of the wafer which is not illustrated [which was prepared in the side face of projection optics PL] (relative-position relation between a reticle projection location and an alignment sensor) with the main control unit 50 at the time of the above-mentioned reticle alignment is also performed.

[0085]

Furthermore, it has the light source by which turning on and off is controlled by the aligner 10 of this operation gestalt with a main control unit 50 to be shown in drawing 1 . Exposure optical-system 60a which irradiates the image formation flux of light for forming many pinholes or the image of a slit towards the image formation side of projection optics PL from the direction of slant to an optical axis AX, The multipoint focal location detection system (focal sensor) of the oblique incidence method which consists of light-receiving optical-system 60b which receives the reflected light bundle in the wafer W front face of those image formation flux of lights is prepared. In addition, the detailed configuration of the same multipoint focal location detection system (focal sensor) as this operation gestalt is indicated by JP,6-283403,A etc.

[0086]

An automatic focus (automatic-focusing doubling) and auto leveling are performed by controlling Z location and the tilt angle of Z tilt stage 58 by the main control unit 50 through a non-illustrated drive system based on this calculation result at the time of scan exposure etc., computing serially

some of surface Z locations and amounts of inclinations of a shot field which exist in an exposure field based on Z location detected about each measure point from light-receiving optical-system 60b.

[0087]

Said main control unit 50 controls the synchronous scan of Reticle R and Wafer W, stepping of Wafer W, exposure timing, etc. so that it has the so-called microcomputer (or workstation) which consists of CPU (arithmetic and program control), ROM (read only memory), RAM (random access memory), etc., and various kinds of control explained until now is performed and also exposure actuation is performed exactly. Moreover, with this operation gestalt, a main control unit 50 carries out generalization control of the whole equipment besides being controlling light exposure in the case of scan exposure to mention later etc.

[0088]

A main control unit 50 specifically for example, at the time of scan exposure It synchronizes with Reticle R being scanned by rate $VR=V$ in the direction (or the direction of -Y) of +Y through a reticle stage RST. So that Wafer W may be scanned in the direction (or the direction of +Y) of -Y to exposure field 42W through X-Y stage 14 by rate $VW=\beta \cdot V$ (projection scale factor [as opposed to the wafer W from Reticle R in β]) Based on the measurement value of laser interferometers 54R and 54W, the location and rate of a reticle stage RST and X-Y stage 14 are controlled respectively through the reticle stage mechanical component 49 and the wafer stage mechanical component 56, respectively. Moreover, in the case of stepping, a main control unit 50 controls the location of X-Y stage 14 through the wafer stage mechanical component 56 based on the measurement value of laser interferometer 54W.

[0089]

Next, the control action of a main control unit 50 is explained as a core about the exposure sequence in the case of exposing a reticle pattern on the wafer W of predetermined number of sheets (N sheets) in the aligner 10 of this operation gestalt.

[0090]

First, a main control unit 50 loads the reticle R for exposure on a reticle stage RST using a non-illustrated reticle loader.

[0091]

Subsequently, while performing reticle alignment using a reticle alignment system, base-line measurement is performed.

[0092]

Next, a main control unit 50 directs exchange of Wafer W in a non-illustrated wafer conveyance system. Thereby, according to the wafer delivery device in which it does not illustrate on a wafer conveyance system and X-Y stage 14, wafer exchange (when there is no wafer on a stage, it is a mere wafer load) is performed, and, subsequently the alignment process of a single string of the so-called search alignment and fine alignment (EGA etc.) is processed. Since these wafer exchange and wafer alignment are performed like a well-known aligner, the detailed explanation beyond this is omitted here.

[0093]

Next, it is carrying out by repeating the actuation for which Wafer W is moved to the scan starting position for exposure of each shot field on Wafer W (acceleration starting position), and the scan exposure actuation mentioned above based on an above-mentioned alignment result and shot map data, and a reticle pattern is imprinted to two or more shot fields on Wafer W by step - and - scanning method. During this scan exposure, in order that a main control unit 50 may give the target addition light exposure determined according to exposure conditions and resist sensibility to Wafer W, it gives a command to quantity of light control unit 16C, and controls the exposure quantity of light.

[0094]

Termination of the exposure to the 1st wafer W directs exchange of Wafer W in a non-illustrated wafer conveyance system in a main control unit 50. Thereby, according to the wafer delivery device in which it does not illustrate on a wafer conveyance system and X-Y stage 14, wafer exchange is performed and search alignment and fine alignment are henceforth performed to the wafer after the

exchange like the above.

[0095]

And a reticle pattern is imprinted by step - and - scanning method like the above by two or more shot fields on this wafer W.

[0096]

In addition, when an illuminance changes with one [at least] modification of exposure conditions and a reticle pattern, it is desirable to control at least one side of the frequency mentioned above and peak power so that proper light exposure may be given to Wafer W (resist). You may make it adjust the scan speed of Reticle R and Wafer W at this time in addition to either [at least] a frequency or peak power.

[0097]

As stated to the detail above, with this operation gestalt, the light outputted from the optical amplifier 1612 is used as a fundamental wave in the wavelength conversion in the nonlinear optical crystals 183D and 183E after the 4th step in the wavelength converter 163 which changes the light of the wavelength of 1546.9 nm into the light of predetermined wavelength (193. four nm) gradually. For this reason, wavelength conversion after the 4th step (sum cycle with the 6 time wave of that fundamental wave and the fundamental wave acquired from the optical amplifier 1611 etc.) can be performed not using the fundamental wave which the output level decreased through the nonlinear optical crystals 183A-183C used for several steps of wavelength conversion but using the fundamental wave acquired from an optical amplifier 1612. Therefore, in the light equipment of this operation gestalt, high wavelength conversion efficiency can be acquired compared with conventional light equipment.

[0098]

If it says, since the fundamental wave acquired from other optical amplifiers 1612 will be used for wavelength conversion using the fundamental wave after the 4th step, it becomes unnecessary conversely, to raise the output level of the fundamental wave of an optical amplifier 1611 to the level for using for the wavelength conversion after the 4th step. Therefore, in the light equipment of this operation gestalt, the peak power of the output of the optical amplifier 1611 used for the 1st step of wavelength conversion can be controlled. There is a merit that wavelength of the light outputted from an optical amplifier 1611 can be further narrow-band-ized if peak power is controlled, and this light equipment 16 becomes useful especially at the equipment which requires the light of the wavelength of narrow-bands including an aligner 10.

[0099]

Moreover, according to the aligner 10 of the operation gestalt of **** 1, since the illumination light IL of high brightness can be irradiated in scan exposure at Reticle R, the pattern formed in Reticle R can be efficiently imprinted with a sufficient precision to Wafer W.

[0100]

In addition, with the above-mentioned operation gestalt, light equipment 16 may be equipped with the two pulsed light generating sections 160 equipped with laser light source 160A as a source of supply of each light of two optical amplifiers 1611 and 1612, as a source of supply of each light of two optical amplifiers 1611 and 1612 although it has only the one pulsed light generating section 160. It cannot be overemphasized that light equipment 16 does not need to be equipped with the optical divider 165 in that case.

[0101]

Moreover, although the optical amplifier which outputs a fundamental wave to the wavelength converter 163 was made into two of optical amplifiers 1611 and 1612 with the above-mentioned operation gestalt, this invention is not limited to this and you may have three or more optical amplifiers. The configuration of the wavelength converter 163 in case it has three optical amplifiers is shown in drawing 5 . In addition, light equipment 16 shall be further equipped with an optical amplifier 1613 as 3rd optical amplifier here. You may make it an optical amplifier 1613 input a branched light in the optical divider 165 like optical amplifiers 1611 and 1612, and may make it input the light outputted from another pulsed light generating section which is different in the pulsed light generating section 160.

[0102]

As shown in drawing 5, this wavelength converter 163 is the same as the wavelength converter 163 of drawing 4 in the point of carrying out wavelength conversion of said amplified pulsed light (light of 1546.9 nm wavelength) those 8 times at a higher harmonic, and generating the pulse ultraviolet radiation which is the oscillation wavelength and abbreviation same wavelength (193.4 nm) of ArF excimer laser including two or more nonlinear optical crystals.

[0103]

In the wavelength converter 163 of drawing 5, wavelength conversion is performed like the wavelength converter 163 shown in drawing 4 in order of a fundamental-wave (1546.9 nm wavelength) → 2 time wave (773.5 nm wavelength) → 3 time wave (515.6 nm wavelength) → 6 time wave (257.8 nm wavelength) → 7 time wave (221.0 nm wavelength) → 8 time wave (193.4 nm wavelength). And in the wavelength converter 163 of drawing 5, since the configuration and actuation of each element to nonlinear optical crystal 183D from which a wave is obtained 7 times are the same as that of the wavelength converter 163 of drawing 4, those explanation is omitted.

[0104]

As shown in drawing 5, through condenser lens 182F, the 7 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183D is compounded by the light and the same axle which were outputted from the optical amplifier 1613 by dichroic-mirror 185B, and passed condenser lens 182G, and carries out incidence to nonlinear optical crystal 183E.

[0105]

As the 5th step of nonlinear optical crystal 183E, 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used and a wave (wavelength of 193.4nm) is obtained 8 times by the sum frequency generation of a fundamental wave and a 7 time wave.

[0106]

As stated above, the wavelength converter 163 of drawing 5 is inputted from an optical amplifier 1612 as a fundamental wave by which incidence is carried out to the 5th step of nonlinear optical crystal 183E, and not the fundamental wave that passed the 4th step of nonlinear optical crystal 183D but the fundamental wave inputted from the optical amplifier 1613 is used. Therefore, the 5th step of wavelength conversion can be performed not using the fundamental wave which the output level decreased through nonlinear optical crystal 183D but using the fundamental wave acquired from an optical amplifier 1613. Therefore, if the wavelength converter 163 of drawing 5 is used, still higher wavelength conversion efficiency can be acquired [rather than] using the wavelength converter 163 of drawing 4. Moreover, since it becomes unnecessary for the wavelength converter 163 of drawing 5 to establish the path which the number of dichroic mirrors can be reduced [path] (drawing 4 three → 2 of dichroic mirrors 185A, 185B, and 185E), and detours a fundamental wave to a wave 7 times compared with the wavelength converter 163 of drawing 4, it can be considered as an easy configuration. In addition, it becomes possible by using the cylindrical-lens pair for Walk-off amendment after nonlinear optical crystals 183C and 183D, and performing beam plastic surgery as mentioned above, to raise the effectiveness of wavelength conversion further. Also in the path of other light, a wavelength plate and a cylindrical-lens pair can be used suitably.

[0107]

Moreover, in addition to this in the configuration of the wavelength converter 163, various modifications can be considered. The modification of the configuration of the wavelength converter 163 is shown in drawing 6. In the wavelength converter 163 shown in drawing 6 (a) and drawing 6 (b), wavelength conversion is performed in order of a fundamental-wave (1546.9 nm wavelength) → 2 time wave (773.5 nm wavelength) → 3 time wave (515.6 nm wavelength) → 4 time wave (386.7 nm wavelength) → 7 time wave (221.0 nm wavelength) → 8 time wave (193.4 nm wavelength). In addition, in the wavelength converter 163 of drawing 6 (a), since the configuration to nonlinear optical crystal 183B from which a wave is obtained 3 times is the same as that of the wavelength converter 163 of drawing 4, those explanation is omitted.

[0108]

As shown in drawing 6 (a), the fundamental wave penetrated without carrying out wavelength conversion by nonlinear optical crystal 183B and the 3 time wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183B pass condenser lens 182C, and it carries out incidence to the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C. And a 4 times [4ω (wavelength is one fourth

of 386.7nm)], i.e., frequency, as many 4 time wave as the frequency ω of a fundamental wave occurs by the sum frequency generation of the fundamental wave and 3 time wave. As the 3rd step of this nonlinear optical crystal 183C, 4O(BO3) Gd_xY_{1-x}Ca₃ (GdYCOB) crystal is used, for example. NCPM (Non-Critical Phase Matching) is used also in GdYCOB.

[0109]

Next, incidence of the 3 time wave penetrated without carrying out wavelength conversion and the 4 time wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183C is carried out to the 4th step of nonlinear optical crystal 183D through condenser lens 182D by nonlinear optical crystal 183C. And in case a wave and a 4 time wave pass the 4th step of this nonlinear optical crystal 183D these 3 times, a 7 times [7ω (wavelength is one seventh of 221.0nm)], i.e., frequency, as many 7 time wave as the frequency ω of a fundamental wave occurs by the sum frequency generation of a wave and a 4 time wave those 3 times. As the 4th step of this nonlinear optical crystal 183D, 2Obeta-BaB 4 (BBO) crystal is used, for example.

[0110]

It is reflected by dichroic-mirror 185A after passage, and the 7 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183D is compounded by the fundamental wave of 1546.9 nm (frequency ω) wavelength and the same axle which were outputted from the optical amplifier 1612, and carries out incidence of the condenser lens 182E to the 5th step of nonlinear optical crystal 183E.

[0111]

As the 5th step of nonlinear optical crystal 183E, 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used and a wave (wavelength of 193.4nm) is obtained 8 times by the sum frequency generation of the fundamental wave and 7 time wave. In the above-mentioned configuration, it is also possible to use 3OCsB5 (CBO) crystal instead of CLBO crystal 183E for 8 time wave generating.

[0112]

In the wavelength converter 163 shown in drawing 6 (a) constituted as mentioned above, the light of the 193.4 nm target wavelength is obtained by carrying out wavelength conversion of the fundamental wave (1546.9 nm wavelength) amplified by optical amplifiers 1611 and 1612.

[0113]

Moreover, in the wavelength converter 163 shown in drawing 6 (b), since a configuration and actuation until it obtains a wave 6 times are the same as that of the wavelength converter 163 of drawing 4, those explanation is omitted. As shown in drawing 6 (b), incidence of the fundamental wave of the 1546.9 nm (frequency ω) wavelength outputted from the optical amplifier 1612 is carried out to the 4th step of nonlinear optical crystal 183D through condenser lens 182E. In case this fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183D, the twice of the frequency ω of that fundamental wave, i.e., 2 double wave with a frequency of 2ω (wavelength is one half of 773.5nm), occur by the secondary harmonic generation.

[0114]

As the 4th step of this nonlinear optical crystal 183D, 3OLiB5 (LBO) crystal is used and the approach by the temperature control of an LBO crystal and NCPM (Non-Critical Phase Matching) are used for the phase matching for carrying out wavelength conversion of that fundamental wave at 2 double wave.

[0115]

It is reflected by dichroic-mirror 185A after passing condenser lens 182D, and the 6 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183C is compounded by 2 double wave and the same axle which were generated in nonlinear optical crystal 183D, and carries out incidence to the 5th step of nonlinear optical crystal 183E.

[0116]

As the 5th step of nonlinear optical crystal 183E, 2Obeta-BaB 4 (BBO) crystal is used, and a wave (wavelength of 193.4nm) is obtained 8 times by the sum frequency generation of the 2 double wave and 6 time wave.

[0117]

In the wavelength converter 163 shown in drawing 6 (b) constituted as mentioned above, the light of the 193.4 nm target wavelength is obtained by carrying out wavelength conversion of the fundamental wave (1546.9 nm wavelength) amplified by optical amplifiers 1611 and 1612.

[0118]

Other modifications of the configuration of the wavelength converter 163 are shown in drawing 7. the wavelength converter 163 shown in drawing 7 (a) -- fundamental-wave (1546.9 nm wavelength) -> -- wavelength conversion is performed in order of a wave (193.4 nm wavelength) 2 double wave (773.5 nm wavelength) -> 3 time wave (515.6 nm wavelength) -> 7 time wave (221.0 nm wavelength) -> 8 times. In the wavelength converter 163 of drawing 7 (a), since the configuration to nonlinear optical crystal 183B by which a wave is obtained from the place which inputs the fundamental wave of the 1546.9 nm (frequency ω) wavelength outputted from the optical amplifier 1611 3 times is the same as that of the wavelength converter 163 of drawing 4, those explanation is omitted.

[0119]

On the other hand, apart from the above-mentioned wavelength conversion, by the wavelength converter of drawing 7 (a) and drawing 7 (b), in order to obtain the 4 time wave (wavelength of 386.7nm) used in the case of the conversion on a 7 time wave from an above-mentioned 3 time wave (wavelength of 515.6nm), wavelength conversion of a wave (386.7 nm wavelength) is also performed fundamental-wave (1546.9 nm wavelength) ->2 double wave (773.5 nm wavelength) -> 4 times.

[0120]

As shown in drawing 7 (a), incidence of the fundamental wave of the 1546.9 nm (frequency ω) wavelength outputted from the optical amplifier 1612 is carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal 183C through condenser lens 182D. In case this fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183C, the twice of the frequency ω of that fundamental wave, i.e., 2 double wave with a frequency of 2ω (wavelength is one half of 773.5nm), occur by the secondary harmonic generation. In addition, as the 1st step of this nonlinear optical crystal 183C, an LBO crystal is used and the approach by the temperature control of an LBO crystal and non critical phase matching, i.e., NCPM, are used for the phase matching for carrying out wavelength conversion of that fundamental wave at 2 double wave.

[0121]

And in case this 2 double wave passes the 2nd step of nonlinear optical crystal 183D, a 4 times [4ω (wavelength is one fourth of 386.7nm)], i.e., frequency, as many 4 time wave as the frequency ω of a fundamental wave occurs by the secondary harmonic generation. In addition, an LBO crystal is used as this nonlinear optical crystal 183D.

[0122]

It is reflected by mirror 185B and dichroic-mirror 185A after passing condenser lens 182F, and the 4 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183D is compounded by the 3 time wave and the same axle which were obtained by nonlinear optical crystal 183B, and passed condenser lens 182C, and carries out incidence to the 3rd step of nonlinear crystal 183E. A BBO crystal is used as the 3rd step of nonlinear optical crystal 183E. In this nonlinear optical crystal 183E, a wave (wavelength of 221.0nm) is obtained 7 times by the sum frequency generation of a wave and a 4 time wave 3 times.

[0123]

It is reflected by dichroic-mirror 185C after passing condenser lens 182H, and the 7 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183E is outputted from an optical amplifier 1613, is compounded by the fundamental wave of 1546.9 nm (frequency ω) wavelength and the same axle which passed condenser lens 182I, and carries out incidence to the 4th step of nonlinear optical crystal 183F.

[0124]

As the 4th step of nonlinear optical crystal 183F, a CLBO crystal is used and a wave (wavelength of 193.4nm) is obtained 8 times by the sum frequency generation of the fundamental wave and 7 time wave.

[0125]

In the wavelength converter 163 shown in drawing 7 (a) constituted as mentioned above, the light of the 193.4 nm target wavelength is obtained by carrying out wavelength conversion of the fundamental wave (1546.9 nm wavelength) amplified by optical amplifiers 1611, 1612, and 1613.

[0126]

In the wavelength converter 163 shown in drawing 7 (b) The configuration to nonlinear optical crystal 183B by which a wave is obtained from the place which inputs the fundamental wave of the 1546.9 nm (frequency ω) wavelength outputted from the optical amplifier 1611 3 times, The configuration to nonlinear optical crystal 183D by which a wave is obtained from the place which inputs the fundamental wave of the 1546.9 nm (frequency ω) wavelength outputted from the optical amplifier 1612 4 times is the same as the wavelength converter 163 of drawing 7 (a).

[0127]

It is obtained by the 2nd step of nonlinear optical crystal 183D, and the 4 time wave which passed condenser lens 182F is reflected by dichroic mirrors 185B and 185A. Thereby, the 4 time wave is obtained by the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B, is compounded by the 3 time wave and the same axle which passed condenser lens 182C, and carries out incidence to the 3rd step of nonlinear optical crystal 183E. Thereby, in the 3rd step of nonlinear optical crystal 183E, a wave comes to be obtained 7 times like the wavelength converter 163 of drawing 7 (a).

[0128]

On the other hand, by being outputted from an optical amplifier 1612, dichroic-mirror 185B is passed, it is reflected by mirror 185D, and condenser lens 182D, nonlinear optical crystal 183C, and condenser lens 182E, nonlinear optical crystal 183D, and the fundamental wave that passed condenser lens 182F pass condenser lens 182I, and results in dichroic-mirror 185C.

[0129]

And it is obtained by nonlinear optical crystal 183E, and it is reflected by dichroic-mirror 185C, and the 7 time wave which passed condenser lens 182H is compounded by the fundamental wave and the same axle which carried out incidence from mirror 185D, and carries out incidence to the 4th step of nonlinear optical crystal 183F.

[0130]

As nonlinear optical crystal 183F, like the wavelength converter of drawing 7 (a), a CLBO crystal is used and a wave (wavelength of 193.4nm) is obtained 8 times by the sum frequency generation of the fundamental wave and 7 time wave.

[0131]

In the wavelength converter 163 shown in drawing 7 (b) constituted as mentioned above, the light of the 193.4 nm target wavelength is obtained by carrying out wavelength conversion of the fundamental wave (1546.9 nm wavelength) amplified by optical amplifiers 1611 and 1612.

[0132]

As stated above, since 193.4nm light can be obtained, by the wavelength converter 163 of drawing 7 (a) and drawing 7 (b), wavelength conversion efficiency higher than the wavelength converter 163 of drawing 6 (a) and drawing 6 (b) from which the nonlinear optical crystal was constituted by five steps can be acquired by the four-step configuration of a nonlinear optical crystal.

[0133]

Moreover, although the light equipment of the above-mentioned operation gestalt was equipment changed into light with a wavelength of about 193nm, this invention is not limited to this and can be applied also to the light equipment changed and outputted to other wavelength, such as oscillation wavelength of F2 laser, and wavelength of abbreviation identitas.

[0134]

The configuration of the wavelength converter 163 changed into the oscillation wavelength of F2 laser and the wavelength of abbreviation identitas is shown in drawing 8 . In the wavelength converter 163 shown in drawing 8 , wavelength conversion is performed in order of a fundamental-wave (wavelength of 1576nm) ->2 time wave (wavelength of 788nm) ->3 time wave (wavelength of 525.3nm) ->6 time wave (wavelength of 262.7nm) ->7 time wave (wavelength of 225.1nm) ->8 time wave (wavelength of 197nm) ->9 time wave (wavelength of 175.1nm) ->10 time wave (wavelength of 157.6nm). In addition, in the wavelength converter 163 of drawing 8 , since a configuration and actuation until it obtains a wave 8 times are the same as that of the wavelength converter 163 of drawing 5 , those explanation is omitted. Moreover, light equipment 16 shall be equipped with five optical amplifiers in drawing 8 (optical amplifiers 1611-1615).

[0135]

As shown in drawing 8 , it is obtained by nonlinear optical crystal 183E, and the 8 time wave which

passed condenser lens 182H is dichroic-mirror 185C, it is outputted from an optical amplifier 1614, is compounded by the light and the same axle which passed condenser lens 182I, and carries out incidence to nonlinear optical crystal 183F.

[0136]

As the 6th step of nonlinear optical crystal 183F, a CBO crystal or KBBF ($\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$ -potassium Fluoroboratoberyllate) is used, and a wave (wavelength of 175.1nm) is obtained 9 times by the sum frequency generation of the fundamental wave and 8 time wave which carried out incidence to the crystal.

[0137]

The 9 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183F is outputted from an optical amplifier 1615 by dichroic-mirror 185D, is compounded by the light and the same axle which passed condenser lens 182K, and carries out incidence to nonlinear optical crystal 183G. As the 7th step of nonlinear optical crystal 183G, BaMgF_4 (BMF) crystal is used and a wave (wavelength of 157.6nm) is obtained 10 times by the sum frequency generation of a fundamental wave and a 9 time wave.

[0138]

This BMF crystal is a nonlinear optical element (henceforth a "QPM component" or a "false phase matching crystal") which has periodic domain reversal structure. Since a BMF crystal generates the sum cycle of a fundamental wave and a 9 time wave by false phase matching (QPM: Quasi-Phase Matching), Walk-off is not generated like the case of NCPM.

[0139]

As shown in drawing 9, the direction of polarization where QPM component 183' is expressed with the arrow head of the space vertical direction in drawing 9 along the travelling direction of light has the periodic domain reversal structure where field 150A and field 150B of the opposite sense were formed alternation and periodically mutually.

[0140]

In addition, as the false phase matching crystal, the width of face lambda along the travelling direction of the light of field 150A and field 150B is set up as follows.

[0141]

In generating the 2nd higher harmonic wave using a false phase matching crystal, the absolute value of the wave number vector of incident light is set to k_1 into QPM component 183', and it sets the absolute value of the wave number vector of the 2nd higher harmonic wave generated to k_2 ,
 $\lambda = 2\pi / (k_2 - 2k_1) \dots (1)$

Be alike is determined.

[0142]

In generating a sum cycle, the absolute value of the wave number vector of incident light is set to k_3 and k_4 into QPM component 183', and it sets the absolute value of the wave number vector of the sum cycle generated to k_5 ,
 $\lambda = 2\pi / (k_5 - (k_3 + k_4)) \dots (2)$

Be alike is determined.

[0143]

Although a wave (wavelength of 157.6nm) obtains 10 times in the wavelength converter 163 shown in drawing 8 using BaMgF_4 (BMF) crystal as mentioned above, as for the incident light which carries out incidence to a BMF crystal in that case, it is desirable to consider as the 9 time wave instead of fundamental waves, such as 2 double wave and a 8 time wave, and a 3 time wave, a 7 time wave. If it does in this way, the period lambda of the BMF crystal mentioned above can be set to about 3 micrometers, and manufacture of a BMF crystal will become easy. In addition, if it is going to generate light with a wavelength of 157.6nm by the second harmonic generation for example, in a BMF crystal, the period of a BMF crystal will be set to about 1 micrometer. Namely, the more it enlarges the difference of the wavelength of two incident light, a period lambda can be lengthened and, the more the manufacture can be made easy.

[0144]

Moreover, as such QPM component 183', there is Xtal (henceforth the "Xtal QPM component") with which periodic domain reversal structure was formed of a periodic domain reversal LN (LiNbO_3) crystal (PPLN crystal), a periodic domain reversal LT (LiTaO_3) crystal (PPLT) crystal, a periodic

domain reversal KTP (KTiOPO₄) crystal (PPKTP crystal), and stress use.

[0145]

For example, the PPKTP crystal and PPLN crystal which are a false phase matching crystal may be used as nonlinear optical elements 183A and 183B 2 double wave in the wavelength converter 163 shown in drawing 4 , drawing 5 , drawing 6 (a) , drawing 6 (b) , drawing 7 (a) , and drawing 7 (b) , and for 3 time wave generating. This crystal is suitable for obtaining light with a wavelength [of a narrow-band] of 193.4nm. That is, while being able to maintain wavelength conversion efficiency even if it makes low peak power of optical amplifier 1611 grade if these crystals are used, expansion of the spectral band width by SPM (self-phase modulation) in the inside of an erbium dope fiber can be controlled.

[0146]

<< -- operation gestalt [of ** a 2nd]>>

Next, the 2nd operation gestalt of this invention is explained based on drawing 10 - drawing 18 . Here, the explanation shall be omitted while using the sign same about a component the same as that of the 1st operation gestalt mentioned above, or equivalent.

[0147]

The aligner in the 2nd operation gestalt differs from the configuration of the aligner with which a point equipped with light equipment 16' is shown in drawing 1 instead of light equipment 16. The configuration of light equipment 16' concerning the 2nd operation gestalt is roughly shown in drawing 10 . As shown in drawing 10 , the point which light source section 16A[of light equipment 16'] was equipped with the pulsed light generating section 190 in addition to the pulsed light generating section 160, and is newly equipped with the optical amplifier 1911 instead of the optical amplifier 1612 differs from light source section 16A of the light equipment 16 shown in drawing 2 .

[0148]

Said pulsed light generating section 190 has laser light source 190A, optical coupler BS2, optical-isolator 190B, electrooptical-modulator (henceforth "EOM") 190C as an optical modulator, etc. In addition, the optical fiber etc. connects optically between each element of a before [from laser light source 190A / the wavelength transducer 163].

[0149]

The configuration and actuation of laser light source 190A, optical coupler BS2, optical-isolator 190B, and EOM190C are the same as laser light source 160A, optical coupler BS1, optical-isolator 160B, and EOM160C. However, as laser light source 190A, narrow-band (ITTORIBIUMU Yb) addition DFB fiber laser with an oscillation wavelength of 1030nm - 1120nm or single wavelength oscillation DFB semiconductor laser is used, for example. "DFB semiconductor laser 190A" shall call laser light source 190A suitably for below.

[0150]

Although the configuration of an optical amplifier 1911 is almost the same as the configuration of an optical amplifier 1611, the optical fiber with which not an erbium (Er) but the ytterbium (Yb) was doped by high density is used for the core of the optical fiber for magnification with which the interior is equipped. That is, this optical amplifier 1911 is an ytterbium dope fiber optical amplifier. In addition, the bandwidth of this optical amplifier 1911 is 1030nm or more 1120nm or less.

[0151]

Said beam monitor device 164 carries out the monitor of the energy of laser light source 160A and laser light source 190A, detects the energy power of those laser beams based on the output of the energy monitor, and controls the quantity of light of the laser beam oscillated by the DFB semiconductor laser 160A and 190A through laser control unit 16B by the main control unit 50 if needed.

[0152]

Moreover, in quantity of light control-device 16C, feedback control of the drive current of each semiconductor laser 1781 and 1782 for excitation of optical amplifiers 1611 and 1911 is carried out so that the optical output from each optical fiber amplifier 167 of optical amplifiers 1611 and 1911 may become fixed (that is, it balances like).

[0153]

Said wavelength converter 163 performs wavelength conversion which makes the amplified pulsed

light, i.e., light with a wavelength of 1105nm, the 1st fundamental wave including two or more nonlinear optical crystals, and makes light of 1546.9 nm wavelength the 2nd fundamental wave, and generates the pulse ultraviolet radiation of the same output wavelength (193. four nm) as ArF excimer laser.

[0154]

In addition, in drawing 10, although only the erbium dope fiber optical amplifier 1611 and the ytterbium dope fiber optical amplifier 1911 are illustrated, according to the configuration of the wavelength converter 163 mentioned later, you may have two or more these. in addition -- the case where it has two or more erbium dope fiber optical amplifiers -- 1611 and 1612 ... as -- the case where a reference number is given and it has two or more ytterbium dope fiber optical amplifiers -- 1911 and 1912 ... as -- a reference number shall be given moreover -- as a source of supply of each light of two optical amplifiers 1611 and 1911 although [drawing 10 / light equipment 16'] it has only the one pulsed light generating sections 160 and 190 -- two optical amplifiers 1611 and 1612 ..., and 1911 and 1912 -- you may have two or more pulsed light generating sections 160 and 190 equipped with laser light sources 160A and 190A as a source of supply of each light of ...

[0155]

An example of the configuration of this wavelength converter 163 is shown in drawing 11 and drawing 12. Here, the example of the wavelength converter 163 is explained based on these drawings.

[0156]

In the wavelength converter 163 of drawing 11 (a), drawing 11 (b), drawing 12 (a), and drawing 12 (b), the pulse ultraviolet radiation of the same output wavelength (193. four nm) as ArF excimer laser is obtained by the sum frequency generation of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave (1546.9 nm wavelength) of the 1st fundamental wave (wavelength of 1105nm).

[0157]

If this is explained further in full detail, as shown in drawing 11 (a), incidence of the 1st fundamental wave with a wavelength of 1105nm (frequency ω_1) outputted from the optical amplifier 1911 will be carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal 183A through condenser lens 182A. In case this 1st fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183A, 2 double wave of 1 (wavelength is one half of 552.5nm) occurs the twice of $2\omega_1$ of the frequency ω_1 of that 1st fundamental wave, i.e., a frequency, by the secondary harmonic generation.

[0158]

As the 1st step of this nonlinear optical crystal 183A, 3OLiB5 (LBO) crystal is used and the approach by the temperature control of an LBO crystal and NCPM (Non-Critical Phase Matching) are used for the phase matching for carrying out wavelength conversion of that fundamental wave at 2 double wave. Although the 1st fundamental wave penetrated without carrying out wavelength conversion by nonlinear optical crystal 183A is reflected by dichroic-mirror 185A, 2 double wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183A penetrates dichroic-mirror 185A, and it carries out incidence to nonlinear optical crystal 183B through condenser lens 182B.

[0159]

In case this 2 double wave passes this nonlinear optical crystal 183B, the 4 time wave of 1 (wavelength is one fourth of 276.3nm) occurs 4 times of $4\omega_1$ of the frequency ω_1 of that 1st fundamental wave, i.e., a frequency, by the secondary harmonic generation. In addition, 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B.

[0160]

It is reflected by mirror 185C and the 1st fundamental wave reflected by dichroic-mirror 185A penetrates dichroic-mirror 185D through condenser lens 182D. And it is reflected by mirror 185B, it is reflected by dichroic-mirror 185D through condenser lens 182C, and the 4 time wave generated in nonlinear optical crystal 183B is compounded by the 1st fundamental wave and the same axle, and carries out incidence to the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C.

[0161]

6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C. In this nonlinear optical crystal 183C, the 5 time wave (wavelength of 221.0nm) of the 1st fundamental wave is obtained by the sum frequency generation of the 4 time wave and the 1st fundamental wave

of the 1st fundamental wave.

[0162]

Dichroic-mirror 185E reflects condenser lens 182E after passage, and the 5 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183C is compounded by the 2nd fundamental wave of 1546.9 nm (frequency ω_2) wavelength and the same axle which were outputted from the optical amplifier 1611 and passed condenser lens 182F, and carries out incidence to the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. In this nonlinear optical crystal 183D, light with a wavelength of 193.4nm is obtained by the sum frequency generation of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave.

[0163]

Moreover, as shown in drawing 11 (b), incidence of the 1st fundamental wave with a wavelength of 1105nm (frequency ω_1) outputted from the optical amplifier 1911 is carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal 183A through condenser lens 182A. In case this 1st fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183A, 2 double wave of that 1st fundamental wave occurs by the secondary harmonic generation. As the 1st step of this nonlinear optical crystal 183A, LiB3O5 (LBO) crystal is used like the wavelength converter 163 of drawing 11 (a).

[0164]

Incidence of the 1st fundamental wave penetrated without carrying out wavelength conversion and the 2 double wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183A is carried out to nonlinear optical crystal 183B through condenser lens 182B by nonlinear optical crystal 183A. In case this 2 double wave passes this nonlinear optical crystal 183B, the 4 time wave of the frequency ω_1 of that 1st fundamental wave occurs by the secondary harmonic generation. In addition, 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B.

[0165]

It is reflected by dichroic-mirror 185A after passing condenser lens 182C, and the 4 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183B is outputted from an optical amplifier 1912, is compounded by the 1st fundamental wave with a wavelength of 1105nm (frequency ω_1) and the same axle which passed condenser lens 182D, and carries out incidence to the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C. 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C. In this nonlinear optical crystal 183C, the 5 time wave (wavelength of 221.0nm) of the 1st fundamental wave is obtained by the sum frequency generation of the 4 time wave and the 1st fundamental wave of the 1st fundamental wave.

[0166]

Dichroic-mirror 185B reflects condenser lens 182E after passage, and the 5 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183C is outputted from an optical amplifier 1611, is compounded by the 2nd fundamental wave of 1546.9 nm (frequency ω_2) wavelength and the same axle which passed condenser lens 182F, and carries out incidence to the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. In this nonlinear optical crystal 183D, light with a wavelength of 193.4nm is obtained by the sum frequency generation of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave.

[0167]

Moreover, as shown in drawing 12 (a), incidence of the 1st fundamental wave with a wavelength of 1105nm (frequency ω_1) outputted from the optical amplifier 1911 is carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal 183A through condenser lens 182A. In case this 1st fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183A, 2 double wave of 1 (wavelength is one half of 552.5nm) occurs the twice of $2\omega_1$ of the frequency ω_1 of that 1st fundamental wave, i.e., a frequency, by the secondary harmonic generation. 3OLiB5 (LBO) crystal is used as the 1st step of this nonlinear optical crystal 183A.

[0168]

Dichroic-mirror 185A reflects condenser lens 182B after passage, and 2 double wave of the 1st fundamental wave acquired by nonlinear optical crystal 183A is outputted from an optical amplifier 1611, is compounded by the 2nd fundamental wave of 1546.9 nm (frequency ω_2) wavelength and the same axle which passed condenser lens 182C, and carries out incidence to the 2nd step of

nonlinear optical crystal 183B. As the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B, the above-mentioned PPKTP crystal which is a false phase matching crystal is used. In this nonlinear optical crystal 183B, 2 double wave of the 1st fundamental wave and the sum cycle (wavelength of 407.1nm) of the 2nd fundamental wave are obtained by the sum frequency generation of 2 double wave of the 1st fundamental wave, and the 2nd fundamental wave.

[0169]

Incidence of the sum cycle generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183B is carried out to nonlinear optical crystal 183C through condenser lens 182D.

[0170]

In case this sum cycle passes this nonlinear optical crystal 183C, the sum cycle (wavelength is 234.4nm) of the 4 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave occurs. In addition, a BBO crystal is used as the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C.

[0171]

Dichroic-mirror 185B reflects condenser lens 182E after passage, and the sum cycle of the 4 time wave of the 1st fundamental wave and the 2nd fundamental wave which were acquired by nonlinear optical crystal 183C is outputted from an optical amplifier 1912, is compounded by the 1st fundamental wave with a wavelength of 1105nm (frequency ω_1) and the same axle which passed condenser lens 182F, and carries out incidence to the 4th step of nonlinear optical crystal 183D.

[0172]

6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. In this nonlinear optical crystal 183D, the sum cycle (wavelength of 193.4nm) of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave is obtained.

[0173]

Moreover, as shown in drawing 12 (b), incidence of the 1st fundamental wave with a wavelength of 1105nm (frequency ω_1) outputted from the optical amplifier 1911 is carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal 183A through condenser lens 182A. In case this 1st fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183A, 2 double wave of 1 (wavelength is one half of 552.5nm) occurs the twice of $2\omega_1$ of the frequency ω_1 of that 1st fundamental wave, i.e., a frequency, by the secondary harmonic generation. 3OLiB5 (LBO) crystal is used as the 1st step of this nonlinear optical crystal 183A.

[0174]

It is reflected by dichroic-mirror 185A, dichroic-mirror 185C reflects condenser lens 182B after passage, and 2 double wave of the 1st fundamental wave acquired by nonlinear optical crystal 183A is outputted from an optical amplifier 1611, is compounded by the 2nd fundamental wave of 1546.9 nm (frequency ω_2) wavelength and the same axle which passed condenser lens 182C, and carries out incidence to the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B. As the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B, the above-mentioned PPKTP crystal which is a false phase matching crystal is used. In this nonlinear optical crystal 183B, 2 double wave of the 1st fundamental wave and the sum cycle (wavelength of 407.1nm) of the 2nd fundamental wave are obtained by the sum frequency generation of 2 double wave of the 1st fundamental wave, and the 2nd fundamental wave. Incidence of the sum cycle generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183B is carried out to nonlinear optical crystal 183C through condenser lens 182D.
 [0175]

In case this sum cycle passes this nonlinear optical crystal 183C, the sum cycle (wavelength is 234.4nm) of the 4 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave occurs. In addition, a BBO crystal is used as the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C.

[0176]

On the other hand, it is reflected by mirror 185B, and the 1st fundamental wave which passed dichroic-mirror 185A passes condenser lens 182F, and they carry out incidence to dichroic-mirror 185D. The sum cycle of the 4 time wave of the 1st fundamental wave and the 2nd fundamental wave which were acquired by nonlinear optical crystal 183C is compounded by the 1st fundamental wave and same axle after passage, and carries out incidence of the condenser lens 182E to the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. In this nonlinear optical crystal 183D, the sum cycle (wavelength of 193.4nm)

of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave is obtained.

[0177]

In the wavelength converter 163 constituted as mentioned above, the light of the 193.4 nm target wavelength is obtained by carrying out wavelength conversion by making into incident light the 1st fundamental wave (1105.0 nm wavelength) outputted from the optical amplifier 1911 etc., and the 2nd fundamental wave (1546.9 nm wavelength) outputted from the optical amplifier 1611 etc.

[0178]

Since the include-angle gap (Walk-off) with the 1st fundamental wave and its 2nd higher harmonic does not take place within nonlinear optical crystal 183B in using $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (ADP) crystal as the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B, it becomes unnecessary in addition, to constitute the path for the 1st fundamental-wave detour of drawing 11 (a) of dichroic-mirror 185A-> mirror 185C-> condenser lens 182D-> dichroic-mirror 185D. Therefore, when using $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (ADP) crystal as the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B, the wavelength converter 163 can be considered as a configuration as shown in drawing 13.

[0179]

As stated above, in drawing 11 (a), drawing 11 (b), drawing 12 (a), drawing 12 (b), and the wavelength converter 163 as shown in drawing 13, the pulse ultraviolet radiation of the same output wavelength (193.4 nm) as ArF excimer laser can be obtained by the four-step configuration (four steps of wavelength conversion) of a nonlinear optical crystal by the sum frequency generation of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave (1546.9 nm wavelength) of the 1st fundamental wave (wavelength of 1105nm). Therefore, with the operation gestalt of **** 2, since only the light outputted in the number of phases of wavelength conversion from the erbium dope fiber optical amplifier shown in drawing 4 etc. can be reduced in 5-4 phase of the wavelength conversion made into a fundamental wave, there is an advantage that wavelength conversion efficiency can be made still higher.

[0180]

In addition, in drawing 11 (a), drawing 11 (b), drawing 12 (a), drawing 12 (b), and the wavelength transducer 163 that has a configuration as shown in drawing 13, the light outputted from the fiber optical amplifier with which Tm (thulium) or Ho (HOROMIUMU) was added may be used as the 2nd fundamental wave instead of the light outputted from an erbium dope fiber optical amplifier. It is not the erbium dope fiber optical amplifier whose output wavelength is 1.5-micrometer band as mentioned above. When output wavelength applies the thulium (or HOROMIUMU) dope fiber optical amplifier which is 2-micrometer band The wavelength of the light outputted from an ytterbium dope fiber optical amplifier When it is set to 1070nm and an ytterbium dope fiber optical amplifier outputs the light of this wavelength region, the cross section of fluorescence can be enlarged and it becomes advantageous to magnification of high peak power from the case where output wavelength is 1105nm.

[0181]

moreover, the wavelength converter 163 mentioned above -- the oscillation wavelength of ArF excimer laser, and abbreviation -- although the light of the same wavelength (193.4nm) was obtained, if the configuration of this wavelength converter 163 is changed with the operation gestalt of **** 2 -- the oscillation wavelength (about 248nm) of KrF excimer laser, the oscillation wavelength (about 157nm) of F2 laser, and abbreviation -- the same wavelength can also be obtained now.

[0182]

drawing 14 -- the sum frequency generation of the 3 time wave of the 1st fundamental wave (wavelength of 1095nm), and 2 double wave of the 2nd fundamental wave (1546.9 nm wavelength) - the oscillation wavelength of KrF excimer laser, and abbreviation -- the configuration of the wavelength converter 163 which generates and outputs the same wavelength of 248nm is shown. As shown in drawing 14, incidence of the 1st fundamental wave with a wavelength of 1095nm (frequency ω_1) outputted from the optical amplifier 1911 is carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal 183A through condenser lens 182A. In case this 1st fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183A, 2 double wave of 1 (wavelength is one half of 547.5nm) occurs the twice of $2\omega_1$ of the frequency ω_1 of that 1st fundamental wave, i.e., a frequency,

by the secondary harmonic generation. As the 1st step of this nonlinear optical crystal 183A, 3OLiB5 (LBO) crystal is used and the approach by the temperature control of an LBO crystal and NCPM (Non-Critical Phase Matching) are used for the phase matching for carrying out wavelength conversion of that fundamental wave at 2 double wave.

[0183]

As for the 1st fundamental wave penetrated without carrying out wavelength conversion by nonlinear optical crystal 183A, and its 2 double wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183A, the half-wave length and one wave of delay is given with the wavelength plate 184 of the next step, respectively. And the polarization direction comes to rotate only the 1st fundamental wave 90 degrees. Thereby, the polarization direction of the 1st fundamental wave and its 2 double wave comes to be in agreement. After the 1st fundamental wave which passed the wavelength plate 184, and its 2 double wave mind condenser lens 182B, incidence of them is carried out to the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B. The LBO crystal with which phase matching is performed by NCPM as the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B at different temperature from the 1st step of nonlinear optical crystal (LBO crystal) 183A is used. In this nonlinear optical crystal 183B, a wave (wavelength of 365.0nm) is obtained 3 times by the sum frequency generation of 2 double wave generated in the 1st step of nonlinear optical crystal 183A, and the fundamental wave which penetrated that nonlinear optical crystal 183A, without carrying out wavelength conversion.

[0184]

Incidence of the 2nd fundamental wave of the 1546.9 nm (frequency ω_2) wavelength outputted from the optical amplifier 1611 is carried out to the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C. In case this 2nd fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183C, 2 double wave of 2 (wavelength is one half of 773.5nm) occurs the twice of $2\omega_2$ of the frequency ω_2 of that 2nd fundamental wave, i.e., a frequency, by the secondary harmonic generation.

[0185]

It is reflected by dichroic-mirror 185A after passing condenser lens 182C, and the 3 time wave of the 1st fundamental wave acquired by nonlinear optical crystal 183B is compounded by 2 double wave and the same axle of the 2nd fundamental wave which were generated in nonlinear optical crystal 183C, and carries out incidence to the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used as the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. In this nonlinear optical crystal 183D, light with a wavelength of 248.0nm is obtained by the sum frequency generation with 2 double wave of the 3 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave. In addition, since there is little wavelength conversion in this wavelength converter 163 as a three-stage, high wavelength conversion efficiency is acquired. Moreover, since a wavelength transducer can be constituted only from a tolerant high crystal, light with a high output level can be obtained.

[0186]

drawing 15 -- the sum frequency generation of the 5 time wave of the 1st fundamental wave (wavelength of 1119nm), and the 3 time wave of the 2nd fundamental wave (wavelength of 1599nm) -- the oscillation wavelength of F2 laser, and abbreviation -- the configuration of the wavelength converter 163 which generates and outputs the same wavelength of 157.6nm is shown. As shown in drawing 15, in nonlinear optical crystal 183D, the configuration until light with a wavelength of 193.4nm is obtained by the sum frequency generation of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave is the same as the configuration of the wavelength converter shown in drawing 11 (a). However, in drawing 15, wavelength of the 1st fundamental wave inputted from an optical amplifier 1911 is set to 1119nm, and the wavelength of the 2nd fundamental wave inputted from optical amplifiers 1611-1613 presupposes that it is 1599nm.

[0187]

It is reflected by dichroic-mirror 185F after passing condenser lens 182G, and the sum cycle of the 5 time wave of the 1st fundamental wave and the 2nd fundamental wave which were generated in nonlinear optical crystal 183D is compounded by the 2nd fundamental wave with a wavelength of 1599nm (frequency ω_2) and the same axle which were outputted from the optical amplifier 1612 and passed condenser lens 182H, and carries out incidence to the 5th step of nonlinear optical crystal 183E.

[0188]

A CBO crystal is used as the 5th step of nonlinear optical crystal 183E. In this nonlinear optical crystal 183E, a sum cycle (wavelength of 174.8nm) with 2 double wave of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave is obtained. In addition, it is also possible to use a KBBF crystal instead of CBO crystal 183E.

[0189]

Dichroic-mirror 185G reflect condenser lens 182I after passage, and the sum cycle of the 5 time wave of the 1st fundamental wave and 2 double wave of the 2nd fundamental wave which were generated in nonlinear optical crystal 183E is compounded by the 2nd fundamental wave with a wavelength of 1599nm (frequency ω_2) and the same axle which were outputted from the optical amplifier 1613 and passed condenser lens 182J, and carries out incidence to the 6th step of nonlinear optical crystal 183F. In nonlinear optical crystal 183F, a sum cycle (wavelength of 157.6nm) with the 3 time wave of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave is obtained. In addition, the above-mentioned BMF crystal which is a false phase matching crystal is used for nonlinear optical crystal 183F. In addition, since the BMF crystal makes incident light light which is two from which wavelength called the sum cycle (174.8nm) of the 2nd fundamental wave (1599nm) and 2 double wave of the 5 time wave and the 2nd fundamental wave of the 1st fundamental wave differs remarkably, it can set the period λ of a BMF crystal to about 3 micrometers, and it becomes easy to manufacture [of a BMF crystal] it also here.

[0190]

As stated to the detail above, since the light of wavelength other than the higher harmonic of those wavelength can be made now by making into incident light light (the 1st fundamental wave, the 2nd fundamental wave) which is two from which wavelength differs, with the light equipment of the operation gestalt of **** 2, the selection range of the wavelength of the light to output can be extended. Only by the wavelength conversion which makes a fundamental wave light outputted only from the erbium dope fiber optical amplifier or the ytterbium dope fiber optical amplifier, although especially the light of the oscillation wavelength of KrF excimer laser and the wavelength of abbreviation identitas was the light of the wavelength which cannot be made, it became possible [making the light of this wavelength] by wavelength conversion using the wavelength converter 163 grade shown in drawing 14 .

[0191]

In addition, in the light equipment of this operation gestalt, the erbium dope fiber optical amplifier was used as optical output equipment which outputs the 2nd fundamental wave, using an ytterbium dope fiber amplifier as optical output equipment which outputs the 1st fundamental wave. Compared with an erbium, high concentration addition of 10 or more times is possible for an ytterbium. Therefore, an ytterbium dope fiber becomes possible [short-length-izing] from an erbium dope fiber. If a fiber is short-length-ized, since it will be hard coming to generate Raman scattering and 4 light-wave mixing, it becomes possible to obtain high peak power, and the effect of the spectrum flare by SPM (self-phase modulation) generated in a fiber also decreases. With an ytterbium dope fiber optical amplifier, narrow-band-ization of the light to generate becomes easy from the above thing rather than an erbium dope fiber optical amplifier. Moreover, since the wavelength of incident light carries out behavior near 4 level system in 1060nm or more, the ytterbium dope fiber optical amplifier is advantageous to a high increase in power. Therefore, with this operation gestalt, it becomes possible to obtain the light of high power and a narrow-band far from the configuration which uses only an erbium dope fiber optical amplifier.

[0192]

In addition, other examples of the configuration of the wavelength converter 163 which performs wavelength conversion by making into a fundamental wave light outputted from an above-mentioned ytterbium dope fiber optical amplifier or erbium dope optical fiber amplifier are shown in drawing 16 - drawing 18 .

[0193]

Among these, the configuration of the wavelength converter 163 which outputs the light of the wavelength of 157.6 nm is shown in drawing 16 by making into a fundamental wave light (1103.2 nm wavelength) outputted from the ytterbium dope fiber optical amplifier 1911. As shown in

drawing 16, incidence of the fundamental wave of the 1103.2 nm (frequency ω) wavelength outputted from the optical amplifier 1911 is carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal 183A through condenser lens 182A. In case this fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183A, the twice of the frequency ω of that fundamental wave, i.e., 2 double wave with a frequency of 2ω (wavelength is one half of 551.6nm), occur by the secondary harmonic generation. As the 1st step of this nonlinear optical crystal 183A, 3OLiB5 (LBO) crystal is used and the approach by the temperature control of an LBO crystal and NCPM (Non-Critical Phase Matching) are used for the phase matching for carrying out wavelength conversion of that fundamental wave at 2 double wave.

[0194]

Although the fundamental wave penetrated without carrying out wavelength conversion by nonlinear optical crystal 183A is reflected by dichroic-mirror 185A, 2 double wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183A penetrates dichroic-mirror 185A, and it carries out incidence to nonlinear optical crystal 183B through condenser lens 182B.

[0195]

In case this 2 double wave passes this nonlinear optical crystal 183B, a 4 times [4ω (wavelength is one fourth of 275.8nm)], i.e., frequency, as many 4 time wave as the frequency ω of that fundamental wave occurs by the secondary harmonic generation. In addition, as the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B, 6OCsLiB10 (CLBO) crystal and a CBO crystal are used.

[0196]

It is reflected by dichroic-mirror 185B and mirror 185D, and 2 double wave penetrated without carrying out wavelength conversion by nonlinear optical crystal 183B penetrates dichroic-mirror 185E through condenser lens 182C. Moreover, after penetrating dichroic-mirror 185B and being reflected by mirror 185C, it is reflected by dichroic-mirror 185E, and the 4 time wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183B is compounded by 2 double wave and the same axle which penetrated dichroic-mirror 185E, and carries out incidence to nonlinear optical crystal 183C. As the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C, KBBF (KBe₂BO₃F₂-otassium fluoroborateberyllate) is used, and a wave (wavelength of 183.9nm) is obtained 6 times by the sum frequency generation of the 2 double wave and the 4 time wave which carried out incidence to the crystal.

[0197]

It is reflected by dichroic-mirror 185A-> mirror 185F-> mirror 185G, and the fundamental wave penetrated without carrying out wavelength conversion by nonlinear optical crystal 183A passes condenser lens 182F, and penetrates dichroic-mirror 185H. After passage, by dichroic-mirror 185H, the 6 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183C is compounded by the fundamental wave and same axle, and carries out incidence of the condenser lens 182E to nonlinear optical crystal 183D.

[0198]

As the 4th step of nonlinear optical crystal 183D, the BaMgF₄ (BMF) above-mentioned crystal is used and a wave (wavelength of 157.6nm) is obtained 7 times by the sum frequency generation of a fundamental wave and a 6 time wave. Since the fundamental wave and the 6 time wave serve as incident light also here,

Manufacture of the crystal can be made easy, being able to use the period λ of a BMF crystal as about 2.3 micrometers. In addition, like before, when making a wave and a 3 time wave into incident light 4 times, the period λ of a BMF crystal had to be set to about 1 micrometer, and manufacture was very difficult. In addition, the obtained 7 time wave passes condenser lens 182G, and is outputted from the wavelength converter 163.

[0199]

The configuration of the wavelength converter 163 which outputs the light of the wavelength of the wavelength (365nm) of i line is shown in drawing 17 by making into a fundamental wave light (wavelength of 1095nm) outputted from the ytterbium dope fiber optical amplifier 1911.

[0200]

As shown in drawing 17, incidence of the fundamental wave with a wavelength of 1095nm outputted from the optical amplifier 1911 is carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal

183A through condenser lens 182A. In case this fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183A, the twice of the frequency ω of that fundamental wave, i.e., 2 double wave with a frequency of 2ω (wavelength is one half of 547.5nm), occur by the secondary harmonic generation. As the 1st step of this nonlinear optical crystal 183A, 3OLiB5 (LBO) crystal is used and the approach by the temperature control of an LBO crystal and NCPM (Non-Critical Phase Matching) are used for the phase matching for carrying out wavelength conversion of that fundamental wave at 2 double wave.

[0201]

As for the fundamental wave penetrated without carrying out wavelength conversion by nonlinear optical crystal 183A, and 2 double wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183A, the half-wave length and one wave of delay is given with the wavelength plate 184 of the next step, respectively. And the polarization direction comes to rotate only a fundamental wave 90 degrees. Thereby, the polarization direction of the fundamental wave and 2 double wave comes to be in agreement. After the fundamental wave and 2 double wave which passed the wavelength plate 184 mind condenser lens 182B, incidence of them is carried out to the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B. As the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B, for example, an LBO crystal and a CBO crystal are used. In this nonlinear optical crystal 183B, a wave (wavelength of 365.0nm) is obtained 3 times by the sum frequency generation of 2 double wave generated in the 1st step of nonlinear optical crystal 183A, and the fundamental wave which penetrated that nonlinear optical crystal 183A, without carrying out wavelength conversion. And high power and the 3 time wave of a narrow-band are outputted through condenser lens 182C.

[0202]

The configuration of the wavelength converter 163 which outputs the light of the wavelength of 193.4 nm is shown in drawing 18 by making into a fundamental wave light (1546.9 nm wavelength) outputted from the erbium dope fiber optical amplifier 1611.

[0203]

As shown in drawing 18, incidence of the fundamental wave of the 1546.9 nm (frequency ω) wavelength outputted from the optical amplifier 1611 is carried out to the 1st step of nonlinear optical crystal 183A through condenser lens 182A. In case this fundamental wave passes this nonlinear optical crystal 183A, the twice of the frequency ω of that fundamental wave, i.e., 2 double wave with a frequency of 2ω (wavelength is one half of 773.5nm), occur by the secondary harmonic generation. As the 1st step of this nonlinear optical crystal 183A, 3OLiB5 (LBO) crystal is used and the approach by the temperature control of an LBO crystal and NCPM (Non-Critical Phase Matching) are used for the phase matching for carrying out wavelength conversion of that fundamental wave at 2 double wave.

[0204]

As for the fundamental wave penetrated without carrying out wavelength conversion by nonlinear optical crystal 183A, and 2 double wave generated in wavelength conversion of nonlinear optical crystal 183A, the half-wave length and one wave of delay is given by wavelength plate 184A of the next step, respectively. And the polarization direction comes to rotate only a fundamental wave 90 degrees. Thereby, the polarization direction of the fundamental wave and 2 double wave comes to be in agreement. After the fundamental wave and 2 double wave which passed wavelength plate 184A mind condenser lens 182B, incidence of them is carried out to the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B. As the 2nd step of nonlinear optical crystal 183B, while for example, an LBO crystal is used, phase matching is performed by NCPM at the temperature to which the LBO crystal differs from the 1st step of nonlinear optical crystal (LBO crystal) 183A. In this nonlinear optical crystal 183B, a wave (wavelength of 515.6nm) is obtained 3 times by the sum frequency generation of 2 double wave generated in the 1st step of nonlinear optical crystal 183A, and the fundamental wave which penetrated that nonlinear optical crystal 183A, without carrying out wavelength conversion.

[0205]

Next, incidence of the 3 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183B is carried out to the 3rd step of nonlinear optical crystal 183C through dichroic-mirror 185A and condenser lens 182C. And in case a wave passes along the 3rd step of this nonlinear optical crystal 183C these 3 times, a 6 times [6ω (wavelength is one sixth of 257.8nm)], i.e., frequency, as many 6 time wave as the

frequency ω of a fundamental wave occurs by the secondary harmonic generation of a wave those 3 times. As the 3rd step of this nonlinear optical crystal 183C, 2Obeta-BaB 4 (BBO) crystal or 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used, for example.

[0206]

It is reflected by mirror 185C and the 6 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183C passes condenser lens 182E. And the 6 time wave is compounded by the same axle in dichroic-mirror 185A-> mirror 185B-> condenser lens 182D, the bypassed fundamental wave, and dichroic-mirror 185D, and carries out incidence to the 4th step of nonlinear optical crystal 183D. 3OCsB5 (CBO) crystal is used as the 4th step of nonlinear optical crystal 183D.

[0207]

The 7 time wave obtained by nonlinear optical crystal 183D and the fundamental wave which penetrated it are separated by dichroic-mirror 185E. It is reflected by mirror 185F, and the fundamental wave which penetrated this passes wavelength plate 184B and condenser lens 182F, and penetrates dichroic-mirror 185H. And it is reflected by mirror 185G, and the 7 time wave reflected by dichroic-mirror 185E passes condenser lens 182G, and is reflected by dichroic-mirror 185H. And the fundamental wave and 7 time wave are compounded by the same axle by dichroic-mirror 185H, and carry out incidence to the 5th step of nonlinear optical crystal 183E. In addition, it is also possible to use a cylindrical-lens pair instead of condenser lens 182G as an object for beam plastic surgery of a wave 7 times.

[0208]

As the 5th step of nonlinear optical crystal 183E, 6OCsLiB10 (CLBO) crystal is used and a wave (wavelength of 193.4nm) is obtained 8 times by the sum frequency generation of a fundamental wave and a 7 time wave.

[0209]

In addition, with the above-mentioned operation gestalt, in order to use the light outputted from two or more optical amplifiers 1611 and 1911 etc. as a fundamental wave, it is necessary to adjust those timing. Therefore, between some [at least] amplifier of each optical amplifier, and the wavelength converter 163, the delay unit to which predetermined time delay of the advance of the light inputted into the wavelength converter 163 from the equipment is carried out may be made to be inserted, and you may enable it to adjust the timing of each fundamental wave inputted into the wavelength converter 163 to it, for example in laser light source 160A and laser light source 190A of drawing 10.

[0210]

Moreover, with the above-mentioned operation gestalt, although laser light sources 160A and 190A were made into the continuation light source, it can also consider as the source of pulsed light. In this case, if the electrooptical modulators 160C and 190C between optical isolators 160B and 190B and optical amplifiers 1611 and 1911 are not arranged, the same output light as the light equipment 16 and 16' concerning the above-mentioned operation gestalt can be obtained.

[0211]

Moreover, with the above-mentioned operation gestalt, although the DFB laser was used as laser light sources 160A and 190A, it is not limited to this and other semiconductor laser can be used. For example, the semiconductor laser of an external resonator configuration can also be used, and the semiconductor laser which is not other external resonator configurations, such as distribution reflective mold (DBR) laser, can also be used, and titanium sapphire laser and fiber lasers, such as an ytterbium dope fiber laser, can also be used.

[0212]

Moreover, although wavelength of the light outputted from a wavelength converter was made into specific wavelength, such as oscillation wavelength of ArF excimer laser and KrF excimer laser, and wavelength of i line, with the above-mentioned operation gestalt, this invention is not limited to this and can output the light of the wavelength of 90nm - 800nm arbitration by changing a setup of the nonlinear optical crystal in the wavelength converter 163 etc., and a setup of the wavelength of light which carries out incidence. you may make it determine the predetermined wavelength as an example according to the design rules (line breadth, pitch, etc.) of the pattern which should be imprinted on Wafer W, and it may take into consideration the above-mentioned exposure conditions,

the class (a phase shift -- do mold or not?) of reticle R, etc. on the occasion of the decision further.
[0213]

Moreover, although all the optical output equipments that output a fundamental wave to the wavelength transducer 163 were used as the fiber optical amplifier with the above-mentioned operation gestalt, as long as this invention is equipment which is not limited to this but can output the light of desired wavelength, they may be laser light sources, such as Nd:YAG laser.

[0214]

Moreover, what is necessary is for the number of the optical fiber amplifier 167 arranged at juxtaposition in the optical amplification section 1611 shown in drawing 3 to be arbitrary, to be good, and just to determine the number according to the specification demanded in the product with which the light equipment concerning this invention is applied. When high power is not especially required as light equipment, the number of the optical fiber amplifier 167 can be reduced, and a configuration can be simplified. In addition, when simplifying so that one optical fiber amplifier 167 may be included, it becomes unnecessary [the optical turnout 166]. Moreover, with the above-mentioned operation gestalt, although the optical fiber amplifier 167 was used as an optical amplifier, a semi-conductor optical amplifier can also be used.

[0215]

Moreover, what is necessary is to purge a perimeter ambient atmosphere by nitrogen, dry air, etc., or just to carry out temperature control of a CLBO crystal or the BBO crystal to an elevated temperature as a nonlinear optical crystal in the wavelength converter 163, with the above-mentioned operation gestalt, when the deliquescence of a CLBO crystal or a BBO crystal poses a problem although the CLBO crystal, the BBO crystal, etc. were used.

[0216]

Moreover, although the above-mentioned operation gestalt explained the case where the light equipment concerning this invention was applied to the scanning aligner of step - and - scanning method, the light equipment concerning this invention is applicable to the laser repair equipment used in order to cut some of equipments (fuse etc.) used for a device production process etc. except an aligner, for example, circuit pattern formed on the wafer. Moreover, this invention is applicable to the immersion photolithography system with which liquids (for example, pure water etc.) are filled between the projection optics PL and the wafers which are indicated by the aligner of not only the scanning aligner of step - and - scanning method but quiescence exposure mold, for example, step-and-repeat method, or step - and - SUTITCHI method, the aligner of a pro squeak tea method, and the mirror projection aligner WO 99/49504, for example, international public presentation etc. In addition, the aligner of the above-mentioned operation gestalt may arrange a wafer stage, respectively in the exposure location where the imprint of a reticle pattern is performed through projection optics, and the measurement location (alignment location) where mark detection by the wafer alignment system is performed, and the twin wafer stage type which can be performed is mostly sufficient as it in parallel in exposure actuation and measurement actuation as indicated by JP,10-214783,A, the international public presentation WO 98/No. 40791, etc.

[0217]

Moreover, although the above-mentioned operation gestalt explained the example used as light equipment with which the light equipment concerning this invention generates the illumination light for exposure, it is also possible to detect the projection image of the mark arranged in the body side or the image surface of the light equipment for above-mentioned reticle alignment which needs the light of the almost same wavelength as the illumination light for exposure, or projection optics, and to use it as light equipment of the optical property ***** space image detection system of the projection optics concerned etc.

[0218]

In addition, the light equipment of this invention can be used for various equipments besides an aligner. For example, a laser beam can be irradiated at a cornea, surface ablation (or ablation inside the cornea cut open) can be performed, and it can use as light equipment used for the laser therapeutic device which corrects the curvature or irregularity of a cornea and treats nearsightedness, the astigmatism, etc. Moreover, the light equipment of this invention is available also as light equipment in optical test equipment etc.

[0219]

Moreover, the light equipment of this invention is available also as the objects (optical-axis doubling etc.) for optical adjustment of optical system like the projection optics in the above-mentioned operation gestalt, or checking. Furthermore, in the various equipments which have excimer laser as the light source, it transposes to excimer laser and the light equipment of this invention can be applied.

[0220]

In addition, light equipment 16 is not restricted to the configuration of drawing 2 on the assumption that use [in / in the configuration of the light equipment 16 shown in drawing 2 / the aligner 10 of drawing 1]. Although highly precise wavelength control, light control, etc. are needed in an aligner, if strict light control etc. is unnecessary, it is necessary except an aligner to prepare neither a quantity of light monitor nor quantity of light control unit 16C, for example.

[0221]

Next, manufacture of the devices (semiconductor chips, such as IC and LSI, a liquid crystal panel, CCD, the thin film magnetic head, micro machine, etc.) which used the aligner and approach of this operation gestalt is explained.

[0222]

First, in a design step, the functional designs (for example, circuit design of a semiconductor device etc.) of a device are performed, and the pattern design for realizing the function is performed. Then, the mask in which the designed circuit pattern was formed is manufactured in a mask manufacture step. On the other hand, in a wafer manufacture step, a wafer is manufactured using ingredients, such as silicon.

[0223]

Next, in a wafer processing step, an actual circuit etc. is formed on a wafer with a lithography technique so that the mask and wafer which were prepared at the above-mentioned step may be used and mentioned later.

[0224]

This wafer processing step has the head end process of each phase of wafer processes, such as an oxidation step which oxidizes the front face of a wafer, a CVD step which forms an insulator layer in a wafer front face, an electrode formation step which forms an electrode by vacuum evaporation on a wafer, and an ion implantation step which drives ion into a wafer, and the tail end process mentioned later in manufacture of a semiconductor device. A head end process is chosen and performed according to required processing in each phase of a wafer process.

[0225]

In each phase of a wafer process, after a head end process is completed, a sensitization agent is applied to a wafer in a resist processing step, and printing exposure of the circuit pattern of a mask is succeedingly carried out at a wafer with the aligner 10 explained above in the exposure step. Next, the wafer exposed in the development step is developed and the exposed member of parts other than the part into which the resist remains is succeedingly removed by etching in an etching step. And the resist which etching ended and became unnecessary is removed in a resist removal step.

[0226]

A circuit pattern is formed on a wafer multiplex by carrying out by repeating a head end process and the tail end process from a resist processing step to a resist removal step as mentioned above.

[0227]

In this way, after a wafer processing step is completed, in an assembly step, it chip-izes using the wafer processed in the wafer processing step. Processes, such as an assembly process (dicing, bonding) and a packaging process (chip enclosure), are included in this assembly.

[0228]

Finally, in an inspection step, the check test of the device produced at the assembly step of operation, an endurance test, etc. are inspected. After passing through such a process, a device is completed, and this is shipped.

[0229]

The device with which the detailed pattern with a sufficient precision was formed as mentioned above is manufactured by high mass-production nature.

[0230]

[Effect of the Invention]

Since wavelength conversion of each phase can be performed not using the fundamental wave which the output level decreased through several steps of wavelength conversion but using the fundamental wave acquired from other optical output equipments according to the light equipment of this invention as explained to the detail above, wavelength conversion efficiency can improve, the peak power of optical output equipment can be controlled, and wavelength of the light outputted from optical output equipment can be narrow-band-ized further.

[0231]

Moreover, since the light injected from the light equipment of this invention is irradiated through exposure optical system at an object according to the light irradiation device of this invention, the light by which wavelength conversion was carried out efficiently can be irradiated at an object.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing roughly the configuration of the aligner concerning the 1st operation gestalt of this invention.

[Drawing 2] It is the block diagram showing the internal configuration of the light equipment of drawing 1 with a main control unit.

[Drawing 3] It is drawing showing roughly the optical fiber amplifier which constitutes the optical amplifier of drawing 2, and its periphery with a part of wavelength converter.

[Drawing 4] It is drawing showing an example of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 193.4nm is obtained.

[Drawing 5] It is drawing showing other examples of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 193.4nm is obtained.

[Drawing 6] Drawing in which drawing 6 (a) shows the modification (the 1) of the configuration of a wavelength converter, and drawing 6 (b) are drawings showing the modification (the 2) of the configuration of a wavelength converter.

[Drawing 7] Drawing in which drawing 7 (a) shows the modification (the 3) of the configuration of a wavelength converter, and drawing 7 (b) are drawings showing the modification (the 4) of the configuration of a wavelength converter.

[Drawing 8] It is drawing showing an example of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 157.6nm is obtained.

[Drawing 9] It is drawing showing the structure of a QPM component.

[Drawing 10] It is the block diagram showing the internal configuration of the light equipment of the 2nd operation gestalt of this invention with a main control unit.

[Drawing 11] Drawing in which drawing 11 (a) shows an example (the 1) of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 193.4nm is obtained, and drawing 11 (b) are drawings showing an example (the 2) of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 193.4nm is obtained.

[Drawing 12] Drawing in which drawing 12 (a) shows an example (the 3) of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 193.4nm is obtained, and drawing 12 (b) are drawings showing an example (the 4) of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 193.4nm is obtained.

[Drawing 13] It is drawing showing an example (the 5) of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 193.4nm is obtained.

[Drawing 14] It is drawing showing an example of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 248nm is obtained.

[Drawing 15] It is drawing showing an example of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 157.6nm is obtained.

[Drawing 16] It is drawing showing an example of the configuration of the wavelength converter from which light outputted from the ytterbium dope fiber optical amplifier is made into a fundamental wave, and light with a wavelength of 157.6nm is obtained.

[Drawing 17] It is drawing showing an example of the configuration of the wavelength converter from which light with a wavelength of 365nm is obtained.

[Drawing 18] It is drawing showing an example of the configuration of the wavelength converter

from which light outputted from the erbium dope fiber optical amplifier is made into a fundamental wave, and light with a wavelength of 193.4nm is obtained.

[Description of Notations]

10 -- aligner and 16 -- light equipment, 16'-- light equipment, and 1611 -- an optical amplifier, a 1612 -- optical amplifier, a 1911 -- optical amplifier, and 163 ... a wavelength converter and 183A-- nonlinear optical crystal, 183B-- nonlinear optical crystal, 183C-- nonlinear optical crystal, and 183D-- a nonlinear optical crystal, a 183E-- nonlinear optical crystal, a 183F -- nonlinear optical crystal, and 183 -- ' --QPM component.

[Translation done.]

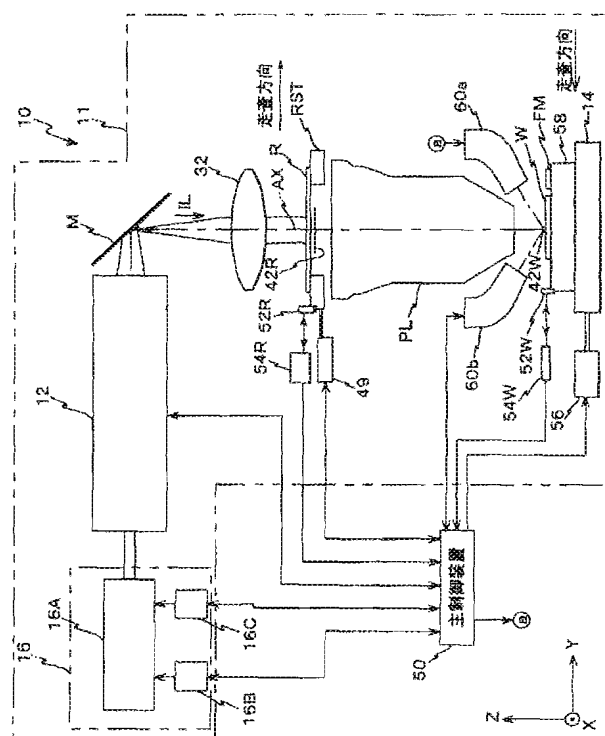
* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

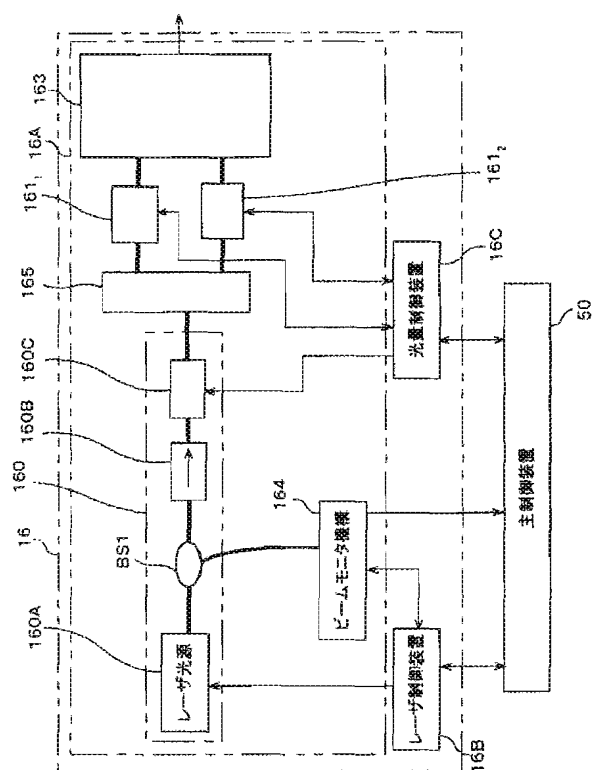
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

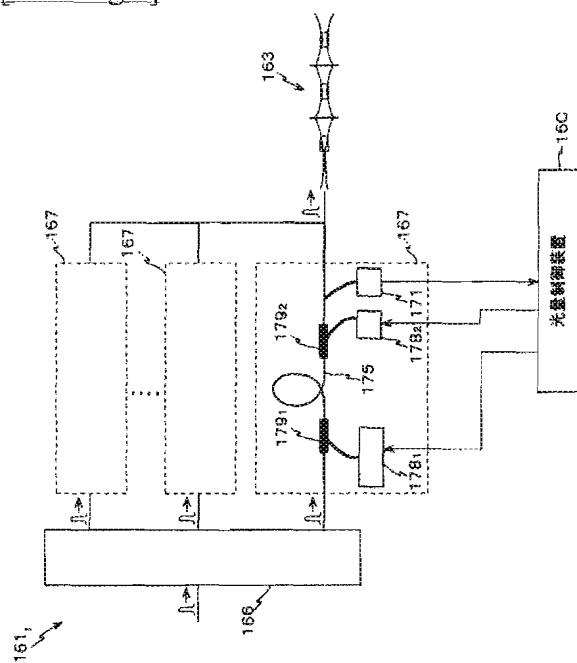
[Drawing 1]



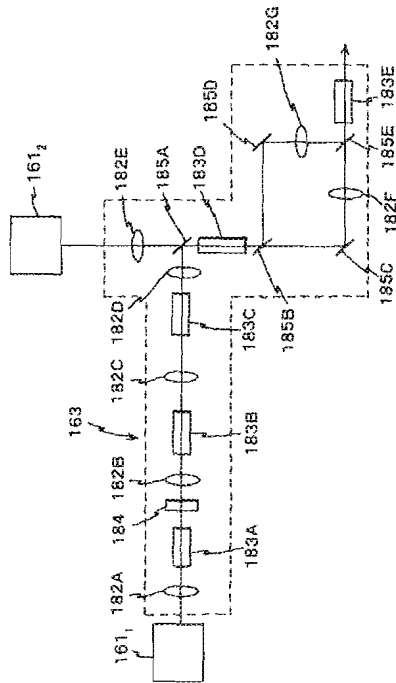
[Drawing 2]



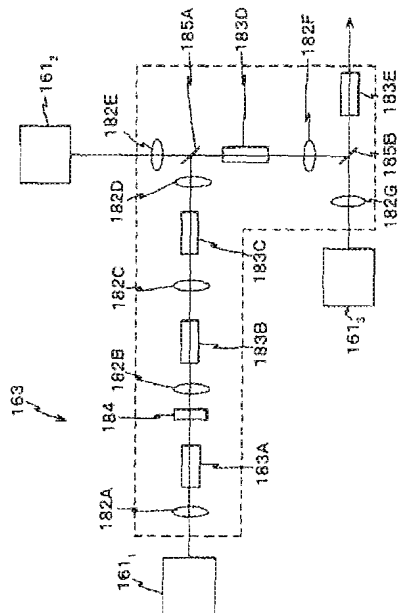
[Drawing 3]



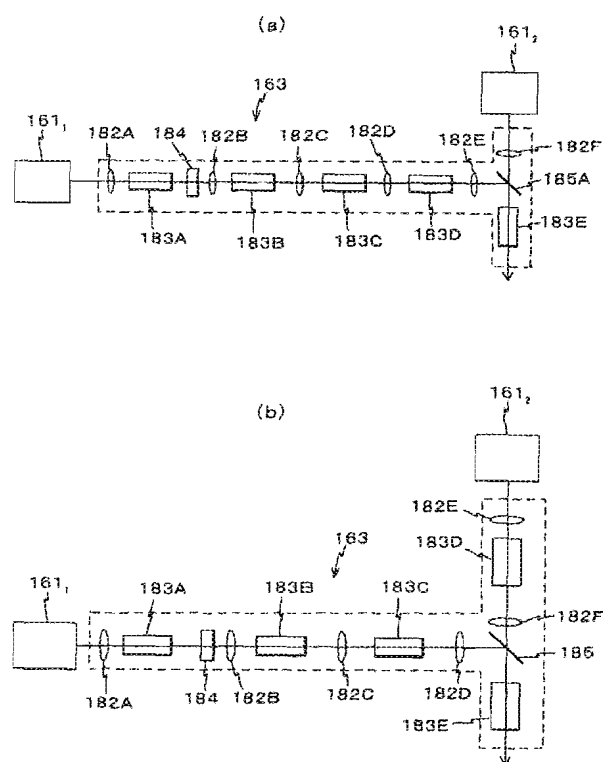
[Drawing 4]



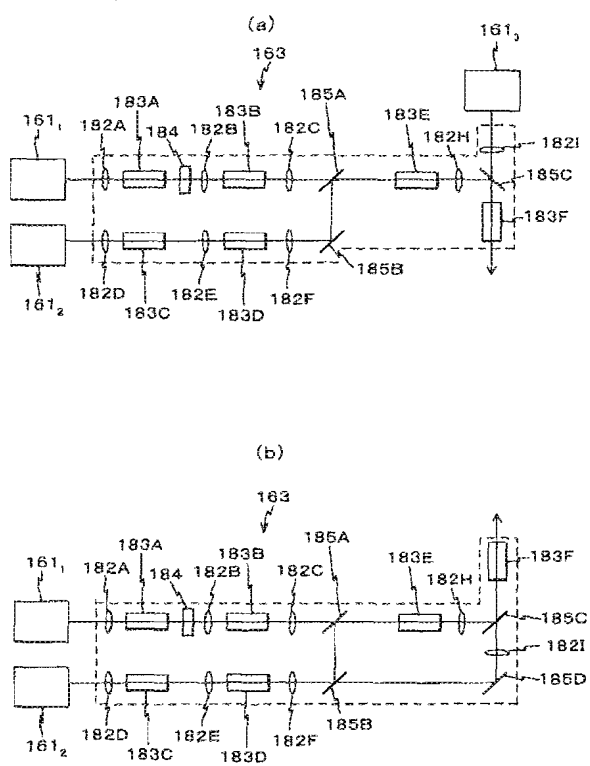
[Drawing 5]



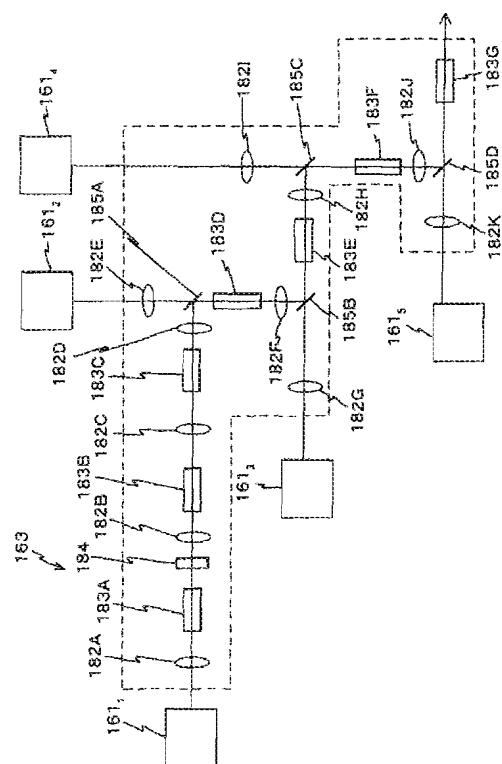
[Drawing 6]



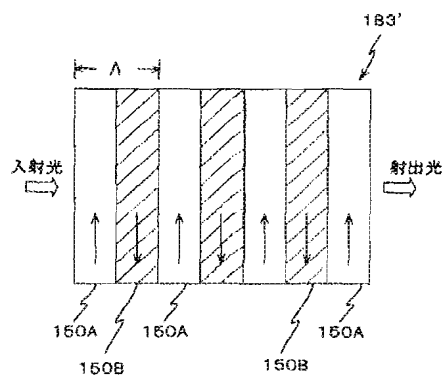
[Drawing 7]



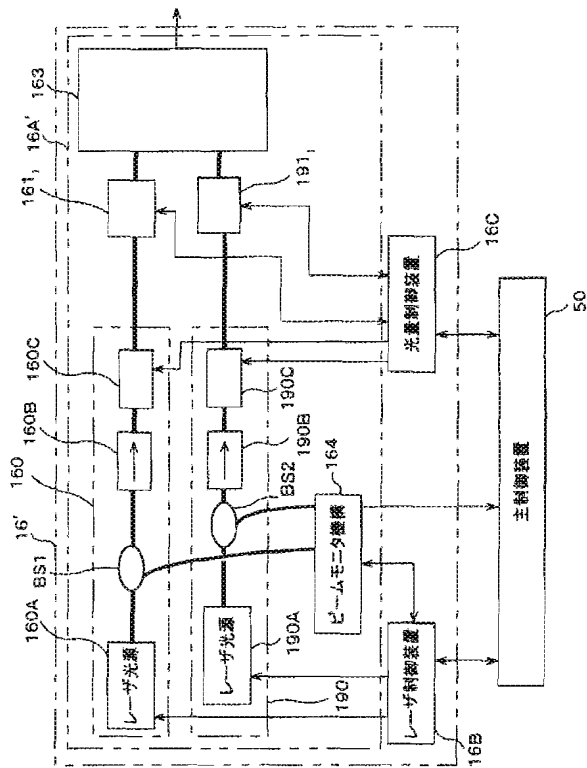
[Drawing 8]



[Drawing 9]

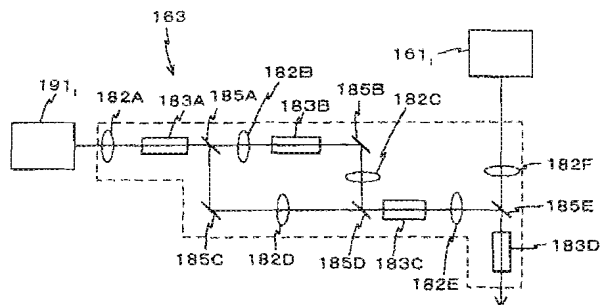


[Drawing 10]

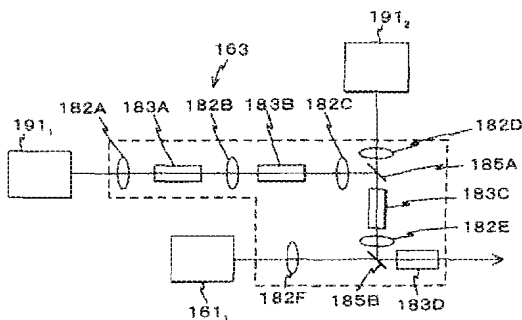


[Drawing 11]

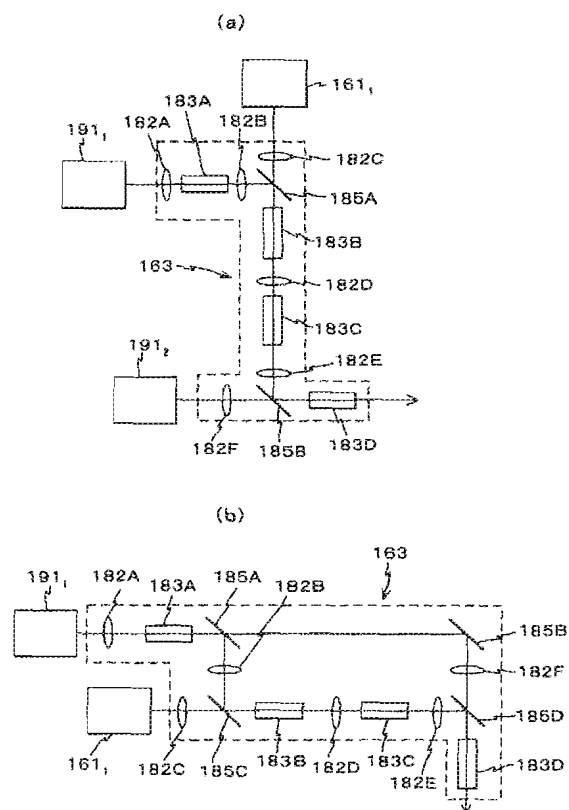
(a)



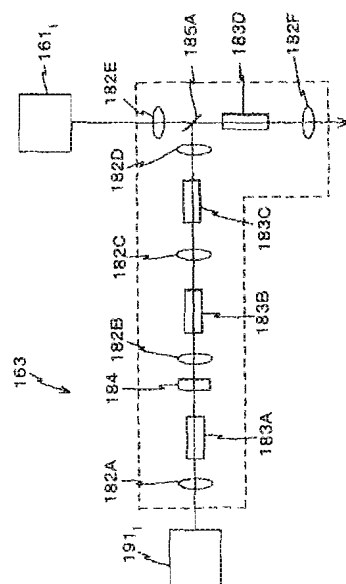
(b)



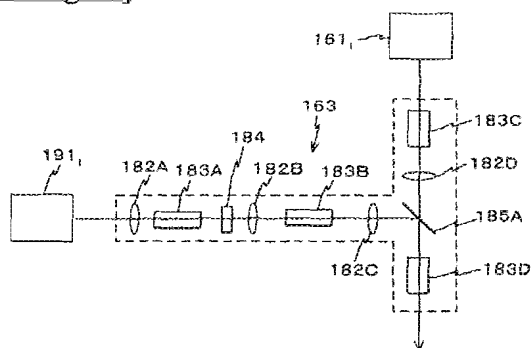
[Drawing 12]



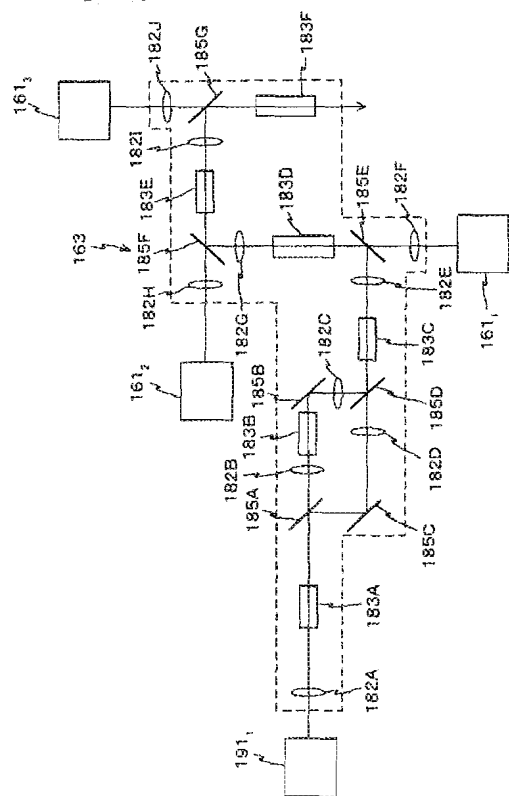
[Drawing 13]



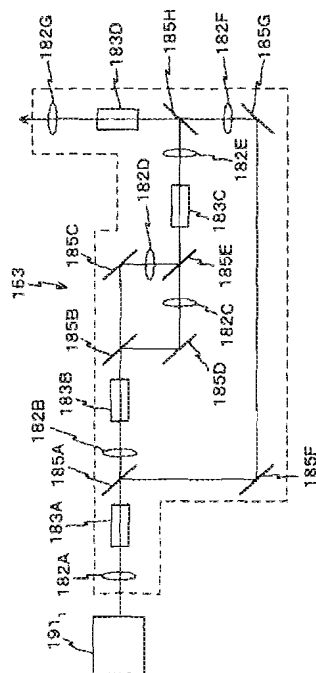
[Drawing 14]



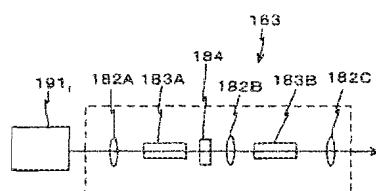
[Drawing 15]



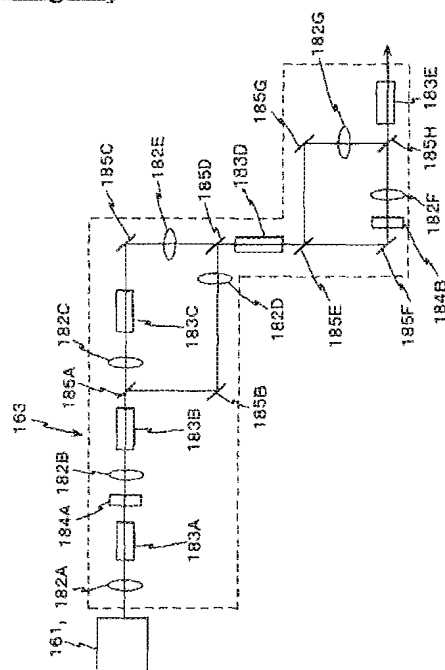
[Drawing 16]



[Drawing 17]



[Drawing 18]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-86193

(P2004-86193A)

(43) 公開日 平成16年3月18日(2004.3.18)

| | | |
|---------------------------|-----------------|-------------|
| (51) Int.Cl. ⁷ | F 1 | テーマコード (参考) |
| G02F 1/37 | G02F 1/37 | 2H097 |
| G03F 7/20 | G03F 7/20 5O2 | 2K002 |
| H01L 21/027 | H01S 3/06 B | 5F046 |
| H01S 3/08 | H01L 21/30 515B | 5F072 |

審査請求 未請求 請求項の数 26 O L (全 39 頁)

| | | | |
|--------------|------------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2003-189435 (P2003-189435) | (71) 出願人 | 000004112 株式会社ニコン |
| (22) 出願日 | 平成15年7月1日 (2003.7.1) | | 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2002-197797 (P2002-197797) | (74) 代理人 | 100102901 弁理士 立石 篤司 |
| (32) 優先日 | 平成14年7月5日 (2002.7.5) | | |
| (33) 優先権主張国 | 日本国 (JP) | (72) 発明者 | 徳久 章 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内 |
| | | (72) 発明者 | 北野 博史 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内 |
| | | (72) 発明者 | 河井 斉 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内 |

最終頁に続く

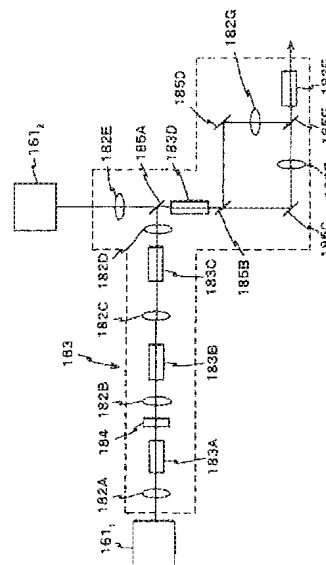
(54) 【発明の名称】 光源装置及び光照射装置

(57) 【要約】

【課題】 波長変換の効率を向上して、出力する光の波長の狭帯域化を図る。

【解決手段】 非線形光学結晶183Dでは、数段階の波長変換（非線形光学結晶183A～183Cにおける波長変換）を経て出力レベルが減衰した基本波でなく、他の光増幅器161₂から得られた基本波を用いて各段階の波長変換を実行することができる。そのため、波長の変換効率が向上し、光増幅器161₁、161₂のピークパワーを抑制することができ、光増幅器161₁、161₂から出力される光の波長をさらに狭帯域化することができる。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定波長の光を発生させる光源装置であって、
前記所定波長とは異なる波長の光を出力する複数の光出力装置と；
前記複数の光出力装置のうちの異なる光出力装置各々から出力された光を基本波とする 2 つの光を入射光とする波長変換を含む複数段階の波長変換により前記所定波長の光を発生させる波長変換器と；を備える光源装置。

【請求項 2】

前記複数の光出力装置は、同一波長の光を出力する複数の装置を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の光源装置。

【請求項 3】

前記複数の光出力装置のうちの少なくとも 1 つの装置は、第 1 波長の光を出力する第 1 装置であり、前記複数の光出力装置のうちの少なくとも 1 つの装置は、前記第 1 波長の光とは異なる第 2 波長の光を出力する第 2 装置であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光源装置。

【請求項 4】

前記波長変換器における波長変換は、
前記第 1 装置から出力された第 1 波長の光の m 倍波（ m は自然数）と前記第 2 装置から出力された第 2 波長の光の n 倍波（ n は自然数）とを入射し、前記 m 倍波及び前記 n 倍波の和周波を発生させる波長変換を含むことを特徴とする請求項 3 に記載の光源装置。

【請求項 5】

前記複数の光出力装置のうちの少なくとも 1 つの装置は、光ファイバ増幅器であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 6】

前記複数の光出力装置のうちの少なくとも 1 つの装置は、エルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 7】

前記複数の光出力装置のうちの少なくとも 1 つの装置は、イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 8】

前記イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器に入力される光の波長は 1060 nm より大きいことを特徴とする請求項 7 に記載の光源装置。

【請求項 9】

前記第 1 装置は、イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であり、前記第 2 装置は、エルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であることを特徴とする請求項 3 ～ 8 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 10】

前記波長変換器は、 KrF エキシマレーザの発振波長と略同一波長である 248 nm 近傍の波長の光を発生させることを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 11】

前記波長変換器は、 ArF エキシマレーザの発振波長と略同一波長である 193 nm 近傍の波長の光を発生させることを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 12】

前記波長変換器は、 F_2 レーザの発振波長と略同一波長である 157 nm 近傍の波長の光を発生させることを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 13】

前記第 1 装置は、イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であり、前記第 2 装置は、ツリウム・ドープ・ファイバ増幅器及びホロミウム・ドープ・ファイバ増幅器の少なくとも

10

20

30

40

50

一方であり、

前記波長変換器は、A r Fエキシマレーザの発振波長と略同一波長である193nm近傍の波長の光を発生させることを特徴とする請求項3～5のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項14】

所定波長の光を発生させる光源装置であって、

1099nm近傍の波長の光を増幅して基本波として出力するイッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器と；

前記基本波をその7倍波に変換し、F₂レーザの発振波長と略同一波長である157nm近傍の波長の光を発生させる波長変換器と；を備える光源装置。

10

【請求項15】

所定波長の光を発生させる光源装置であって、

1095nm近傍の波長の光を増幅して基本波として出力するイッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器と；

前記基本波をその3倍波に変換し、i線の波長と略同一波長である365nm近傍の波長の光を発生させる波長変換器と；を備える光源装置。

【請求項16】

所定波長の光を発生させる光源装置であって、

1547nm近傍の波長の光を基本波として出力する少なくとも1つの光出力装置と；

前記基本波とその6倍波との和周波である221nm近傍の波長の光を発生させる非線形光学素子としてCsB₃O₅結晶が用いられている波長変換器と；を備える光源装置。

20

【請求項17】

前記波長変換器は、

複数の非線形光学素子を用いて波長変換を実行することを特徴とする請求項1～16のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項18】

前記複数の非線形光学素子のうち、少なくとも1つの非線形光学素子は、NH₄H₂PO₄結晶であることを特徴とする請求項17に記載の光源装置。

【請求項19】

前記複数の非線形光学素子のうち、少なくとも1つの非線形光学素子は、擬似位相整合結晶であることを特徴とする請求項17又は18に記載の光源装置。

30

【請求項20】

前記擬似位相整合結晶としてKTiOPO₄結晶とLiNbO₃結晶との少なくとも一方が用いられることを特徴とする請求項19に記載の光源装置。

【請求項21】

前記擬似位相整合結晶として、BaMgF₄結晶が用いられていることを特徴とする請求項19又は20に記載の光源装置。

【請求項22】

前記BaMgF₄結晶は、前記基本波と前記基本波のm倍波（mは自然数）との和周波を発生させることを特徴とする請求項21に記載の光源装置。

40

【請求項23】

前記各光出力装置のうちの少なくとも一部の装置と、前記波長変換器との間には、その装置から前記波長変換器へ入力される光の進行を所定時間遅延させる遅延装置が挿入されていることを特徴とする請求項1～22のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項24】

前記所定波長が90nm以上800nm以下であることを特徴とする請求項1～9、17～23のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項25】

対象物に光を照射する光照射装置であって、

請求項1～24のいずれか一項に記載の光源装置と；

50

前記光源装置から射出された光を前記対象物に向けて射出する照射光学系と；を備える光照射装置。

【請求項 26】

前記対象物は、感光体であることを特徴とする請求項 25 に記載の光照射装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光源装置及び光照射装置に係り、更に詳しくは、レーザ光源から発せられる単一の波長の光を別の波長の光に波長変換する波長変換器を備える光源装置、及び、該光源装置を備える光照射装置に関する。

10

【0002】

【従来の技術】

従来から、物体の微細構造の検査、物体の微細加工、また、視力矯正の治療等に光照射装置が使用されている。例えば、半導体素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）に形成されたパターンを、投影光学系を介してレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、適宜「基板」又は「ウエハ」という）上に転写するために、光照射装置の一種である露光装置が用いられている。こうした露光装置としては、ステップ・アンド・リピート方式を採用する静止露光型の投影露光装置や、ステップ・アンド・スキャン方式を採用する走査露光型の投影露光装置が主として用いられている。また、視力矯正のために、角膜表面のアブレーション（PRK：Photorefractive Keratectomy）あるいは角膜内部のアブレーション（LASIK：Laser Intrastromal keratomileusis）を行って近視や乱視等の治療をするために、光照射装置の一種であるレーザ治療装置が用いられている。

20

【0003】

かかる光照射装置のために、短波長の光を発生する光源について多くの開発がなされてきた。こうした短波長光源の開発の方向は、主に次の 2 種に大別される。その一つはレーザの発振波長自身が短波長であるエキシマレーザ光源の開発であり、もう一つは赤外又は可視光レーザの高調波発生を利用した短波長光源の開発である。

【0004】

このうち、前者の方向に沿っては、KrFエキシマレーザ（波長 248 nm）を使用する光源装置が開発され、現在では、さらに短波長の光源としてArFエキシマレーザ（波長 193 nm）等を使用する光源装置の開発が進められている。しかし、これらのエキシマレーザは大型であること、扱いに慎重を要するフッ素ガスを使用するため、レーザのメンテナンスが煩雑でかつ費用が高額となるなど、光源装置として不利な点が存在する。

30

【0005】

そこで、後者の方向に沿った短波長化の方法として、非線形光学結晶の非線形光学効果を利用して、長波長の光（赤外光、可視光）を、より短波長の紫外光に変換する方法が注目を集めている。かかる方法を使用した光源装置としては、例えば、国際公開公報 WO 99 / 46835 に開示されたもの（以下、単に「従来例」という）がある。

40

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

上述の非線形光学結晶を使用する短波長化の方法では、非線形光学結晶における非線形光学効果の発生効率によって短波長光の発生効率が決定されるが、入射した波長変換の対象光の輝度（「ピークパワー」の意味を含む）が高い程、その非線形光学効果の発生効率が高くなる。このため、効率良く紫外光を得るためには、高輝度の赤外光又は可視光を非線形光学結晶に入射させる必要がある。そこで、上述の従来例では、半導体レーザ等によって発生した単一波長の赤外光又は可視光を、エルビウム（Er）等の希土類元素が添加された増幅用光ファイバを有する光ファイバ増幅器で増幅して、非線形光学結晶に入射させている。なお、こうした光ファイバ増幅器では、増幅用光ファイバに励起光を供給して、

50

添加された希土類元素を励起させ、希土類元素の外殻電子のエネルギー準位について反転分布を形成することにより、増幅用光ファイバに光増幅機能を付与している。

【0007】

上述した従来例の技術のように、長波長の光（赤外光、可視光）をより短波長の紫外光に変換する場合には、非線形光学結晶による非線形光学効果を利用して、その入射光の第2高調波あるいは和周波を発生させることによって波長変換を行っている。このような場合には、以下に示すような不都合があった。

(1) 基本波の m 倍波（ m は自然数）を得るのに、 $m-1$ 倍波がすでに得られている場合には、 $m-1$ 倍波と基本波との和周波を発生させて所望の波長の光を得ている。通常、この和周波を発生させる場合に用いられる基本波には、高調波に変換されずに前段階の非線形光学結晶を通過してきた基本波が用いられる。しかし、前段階の非線形光学結晶を通過し、最終段階の非線形光学結晶まで到達してきた基本波は、その出力レベルがかなり減衰しており、このような場合には、十分な波長変換効率を得ることができない。

10

(2) 波長変換に用いられる基本波の波長によって、波長変換可能な波長が、基本波の m 倍波の波長に限られてしまう。

【0008】

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、波長変換効率の向上が可能な光源装置を提供することにある。

【0009】

また、本発明の第2の目的は、効率良く波長変換された光を物体（照射対象物）に照射することができる光照射装置を提供することにある。

20

【0010】

【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の発明は、所定波長の光を発生させる光源装置（16、16'）であって、前記所定波長とは異なる波長の光を出力する複数の光出力装置（161_j、191_j）と；前記複数の光出力装置のうちの異なる光出力装置各々から出力された光を基本波とする2つの光を入射光とする波長変換を含む複数段階の波長変換により前記所定波長の光を発生させる波長変換器（163）と；を備える光源装置である。

【0011】

これによれば、所定波長とは異なる波長の光を、所定波長の光に段階的に変換する波長変換器においては、異なる光出力装置各々から出力された光を基本波とする2つの光を入射光とする波長変換が少なくとも1段階実行される。すなわち、本発明の光源装置では、1つの光出力装置から出力された光を唯一の基本波とし、数段階の波長変換を経て出力レベルが減衰した光で、全段階の波長変換を実行するのではなく、他の光出力装置から出力された光を基本波とする光を用いて、少なくとも1段階の波長変換を実行することができるので、波長変換効率を向上することができる。

30

【0012】

さらに、本発明の光源装置によれば、2段目以降の基本波を用いた波長変換には、他の光出力装置から得られた基本波を用いることができるので、1段目の波長変換に用いる基本波の出力レベルを2段目以降の波長変換に用いるための高いレベルとする必要がなくなる。したがって、本発明の光源装置では、1段目の波長変換に用いる基本波を出力する光出力装置や、他の段階での波長変換に用いられる基本波を出力する光出力装置の出力のピークパワーを抑制することができる。ピークパワーが抑制されると、光出力装置から出力される光の波長をさらに狭帯域化することができるようになる。

40

【0013】

この場合、請求項2に記載の光源装置のごとく、前記複数の光出力装置は、同一波長の光を出力する複数の装置を含むこととすることができる。

【0014】

上記請求項1又は2に記載の光源装置において、請求項3に記載の光源装置のごとく、前記複数の光出力装置のうちの少なくとも1つの装置は、第1波長の光を出力する第1装置

50

(191_j)であり、前記複数の光出力装置のうちの少なくとも1つの装置は、前記第1波長の光とは異なる第2波長の光を出力する第2装置(161_j)であることとすることができる。

【0015】

これによれば、波長が異なる2つの光を入射光として、単一の波長のm倍波以外の波長の光を作り出すことができるようになるので、出力する光の波長の選択範囲を広げることができる。

【0016】

この場合、請求項4に記載の光源装置のごとく、前記波長変換器における波長変換は、前記第1装置から出力された第1波長の光のm倍波(mは自然数)と前記第2装置から出力された第2波長の光のn倍波(nは自然数)とを入射し、前記m倍波及び前記n倍波の和周波を発生させる波長変換を含むこととすることができる。

10

【0017】

また、上記請求項1～4のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項5に記載の光源装置のごとく、前記複数の光出力装置のうちの少なくとも1つの装置は、光ファイバ増幅器であることとすることができる。

【0018】

勿論、光出力装置としては、光ファイバ増幅器に制限されるものではなく、誘導ラマン散乱増幅器、誘導ブリルアン散乱増幅器など様々な増幅器を適用することができる。また、レーザ光源(例えば、Nd:YAGレーザ光源など)等の光源も光出力装置として用いることができ、それらを組合せて用いることも可能である。

20

【0019】

また、上記請求項1～5のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項6に記載の光源装置のごとく、前記複数の光出力装置のうちの少なくとも1つの装置は、エルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であることとすることができる。なお、エルビウム・ドープ・ファイバ増幅器によって増幅可能な光の波長の帯域幅は、1530nm以上1600nm以下である。

【0020】

上記請求項1～6のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項7に記載の光源装置のごとく、前記複数の光出力装置のうちの少なくとも1つの装置は、イットルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であることとすることができる。なお、イットルビウム・ドープ・ファイバ増幅器によって増幅可能な光の波長の帯域幅は、1030nm以上1120nm以下である。

30

【0021】

この場合、請求項8に記載の光源装置のごとく、前記イットルビウム・ドープ・ファイバ増幅器に入力される光の波長は1060nmより大きいこととすることができる。このようにすれば、イットルビウム・ドープ・ファイバ増幅器は4準位系レーザと同様に動作するので、高出力を得ることができる。

【0022】

上記請求項3～8のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項9に記載の光源装置のごとく、前記第1装置は、イットルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であり、前記第2装置は、エルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であることとすることができる。

40

【0023】

これによれば、波長変換器では、1030nm以上1120nm以下の波長を有する基本波のm倍波と、1530nm以上1600nm以下の波長を有する基本波のn倍波とを入射光とする波長変換を実施することができるので、出力する光の波長の選択範囲を広げることができる。

【0024】

上記請求項1～9のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項10に記載の光源装置のごとく、前記波長変換器は、KrFエキシマレーザの発振波長と略同一波長である2

50

48 nm 近傍の波長の光を発生させることとすることができる。

【0025】

これによれば、メンテナンス等が困難な KrF エキシマレーザ光源に代えて、本発明の光源装置を用いることにより、容易に 248 nm 近傍の波長の光を得ることができる。

【0026】

上記請求項 1～9 のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項 11 に記載の光源装置のごとく、前記波長変換器は、ArF エキシマレーザの発振波長と略同一波長である 193 nm 近傍の波長の光を発生させることとすることができる。

【0027】

これによれば、メンテナンス等が困難な ArF エキシマレーザ光源に代えて、本発明の光源装置を用いることにより、容易に 193 nm 近傍の波長の光を得ることができる。 10

【0028】

上記請求項 1～9 のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項 12 に記載の光源装置のごとく、前記波長変換器は、F₂ レーザの発振波長と略同一波長である 157 nm 近傍の波長の光を発生させることとすることができる。

【0029】

上記請求項 3～5 のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項 13 に記載の光源装置のごとく、前記第 1 装置は、イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器であり、前記第 2 装置は、トリウム・ドープ・ファイバ増幅器及びホロミウム・ドープ・ファイバ増幅器の少なくとも一方であり、前記波長変換器は、ArF エキシマレーザの発振波長と略同一波長である 193 nm 近傍の波長の光を発生させることとすることができる。 20

【0030】

請求項 14 に記載の発明は、所定波長の光を発生させる光源装置であって、1099 nm 近傍の波長の光を増幅して基本波として出力するイッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器と；前記基本波をその 7 倍波に変換し、F₂ レーザの発振波長と略同一波長である 157 nm 近傍の波長の光を発生させる波長変換器と；を備える光源装置である。

【0031】

請求項 15 に記載の発明は、所定波長の光を発生させる光源装置であって、1095 nm 近傍の波長の光を増幅して基本波として出力するイッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器と；前記基本波をその 3 倍波に変換し、i 線の波長と略同一波長である 365 nm 近傍の波長の光を発生させる波長変換器と；を備える光源装置である。 30

【0032】

請求項 16 に記載の発明は、所定波長の光を発生させる光源装置であって、1547 nm 近傍の波長の光を基本波として出力する少なくとも 1 つの光出力装置と；前記基本波とその 6 倍波との和周波である 221 nm 近傍の波長の光を発生させる非線形光学素子として CsB₃O₅ 結晶が用いられている波長変換器と；を備える光源装置である。

【0033】

上記請求項 1～16 のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項 17 に記載の光源装置のごとく、前記波長変換器は、複数の非線形光学素子を用いて波長変換を実行することとすることができる。この場合、請求項 18 に記載の光源装置のごとく、前記非線形光学素子には、NH₄H₂PO₄ 結晶であることとすることができる。 40

【0034】

上記請求項 17 又は 18 に記載の光源装置において、請求項 19 に記載の光源装置のごとく、前記複数の非線形光学素子のうち、少なくとも 1 つの非線形光学素子は、擬似位相整合結晶であることとすることができる。この場合、請求項 20 に記載の光源装置のごとく、前記擬似位相整合結晶として KTiOP₄ 結晶と LiNbO₃ 結晶との少なくとも一方が用いられることとすることができる。

【0035】

また、上記請求項 19 又は 20 に記載の光源装置において、請求項 21 に記載の光源装置のごとく、前記擬似位相整合結晶として、BaMgF₄ 結晶が用いられていることとする 50

ことができる。この場合、請求項 22 に記載の光源装置のごとく、前記 BaMgF₄ 結晶は、前記基本波と前記基本波の m 倍波（m は自然数）との和周波を発生させることとすることができる。このようにすれば、擬似位相整合結晶の分極反転周期をできるだけ長くすることができるので、擬似位相整合結晶の製造が容易となる。

【0036】

上記請求項 1 ～ 22 のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項 23 に記載の光源装置のごとく、前記各光出力装置のうちの少なくとも一部の装置と、前記波長変換器との間には、その装置から前記波長変換器へ入力される光の進行を所定時間遅延させる遅延装置が挿入されていることとすることができる。

【0037】

上記請求項 1 ～ 9、17 ～ 23 のいずれか一項に記載の光源装置において、請求項 24 に記載の光源装置のごとく、前記所定波長が 90 nm 以上 800 nm 以下であることとすることができる。

【0038】

請求項 25 に記載の発明は、対象物に光を照射する光照射装置であって、請求項 1 ～ 24 のいずれか一項に記載の光源装置と；前記光源装置から射出された光を前記対象物に向けて射出する照射光学系と；を備える光照射装置である。

【0039】

これによれば、請求項 1 ～ 24 のいずれか一項に記載の光源装置から出力された光を、照射光学系を介して対象物に照射するので、効率良く波長変換された光を物体（照射対象物）に照射することができる。

【0040】

この場合、請求項 26 に記載の光照射装置のごとく、前記対象物は、感光物体であることとすることができる。すなわち、本発明の光照射装置は、露光装置であることとすることができる。

【0041】

【発明の実施の形態】

《第 1 の実施形態》

以下、本発明の第 1 の実施形態を図 1 ～ 図 9 に基づいて説明する。

【0042】

図 1 には、本発明に係る光源装置を含んで構成された第 1 の実施形態に係る光照射装置である露光装置 10 の概略構成が示されている。この露光装置 10 は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置である。

【0043】

この露光装置 10 は、光源装置 16 及び照明光学系 12 から成る照明系、この照明系からの露光用照明光（以下、「照明光」または「露光光」という）IL により照明されるマスクとしてのレチクル R を保持するレチクルステージ RST、レチクル R を介した露光光 IL を感光物体としてのウエハ W 上に投射する投影光学系 PL、ウエハ W を保持する Z チルトステージ 58 が搭載された XY ステージ 14、及びこれらの制御系等を備えている。

【0044】

前記光源装置 16 は、例えば、波長 193.4 nm（ArF エキシマレーザ光とほぼ同一波長）の紫外パルス光を出力する装置である。この光源装置 16 は、前記照明光学系 12、レチクルステージ RST、投影光学系 PL、Z チルトステージ 58、XY ステージ 14 及びこれら各部が搭載された不図示の本体コラム等から成る露光装置本体とともに、温度、圧力、湿度等が高精度に調整されたエンバイロンメンタル・チャンバ（以下、「チャンバ」という）11 内に収納されている。なお、本実施形態では、光源装置 16 を全てチャンバ 11 内に配置するものとしたが、光源装置 16 の一部、例えば後述する波長変換器のみをチャンバ 11 内、特に照明光学系 12 と同一の架台に設け、その波長変換器と光源装置 16 の本体部とを光ファイバ等で接続する構成であってもよい。

【0045】

10

20

30

40

50

図2には、光源装置16の内部構成が、露光装置10全体を統括制御する主制御装置50とともにブロック図にて示されている。図2に示されるように、光源装置16は、光源部16A、レーザ制御装置16B、及び光量制御装置16C等を備えている。

【0046】

前記光源部16Aは、パルス光発生部160、光増幅器161₁、161₂、波長変換器163、ビームモニタ機構164及び光分割器165等を備えている。

【0047】

前記パルス光発生部160は、レーザ光源160A、光カップラBS1、光アイソレータ160B及び光変調器としての電気光学変調器（以下、「EOM」という）160C等を有する。なお、レーザ光源160Aから波長変換器163までの間の各要素間は、光ファイバ等によって光学的に接続されている。

【0048】

前記レーザ光源160Aとしては、ここでは、単一波長発振レーザ、例えば、発振波長1.5 μ m近傍、連続波出力（以下「CW出力」という）20mWのInGaAsP系のDFB（分布帰還型）半導体レーザが用いられている。以下においては、レーザ光源160Aを適宜「DFB半導体レーザ160A」とも呼ぶものとする。ここで、DFB半導体レーザ160Aは、縦モード選択性の低いファブリーペロー型共振器の代わりに、回折格子を半導体レーザ内に作り上げたものであり、どのような状況下であっても単一縦モード発振をするように構成されている。このようなレーザでは、基本的に単一縦モード発振をするため、その発振スペクトル線幅は0.01pm以下に抑えられる。

【0049】

なお、DFB半導体レーザ160Aは、通常、ヒートシンクの上に設けられ、これらが筐体内に収納されている。本実施形態では、DFB半導体レーザ160Aに付設されるヒートシンク上に温度調整器（ペルチェ素子など）が設けられており、レーザ制御装置16Bがその温度を制御することにより発振波長が制御（調整）可能な構成となっている。

【0050】

前記光カップラBS1としては、透過率が97%程度のものが用いられている。このため、DFB半導体レーザ160Aからのレーザ光は、光カップラBS1によって2つに分岐され、その97%程度が次段の光アイソレータ160Bに向かって進み、残り3%程度がビームモニタ機構164に入射するようになっている。

【0051】

前記ビームモニタ機構164は、フォトダイオード等の光電変換素子から成るエネルギーモニタ（図示省略）を含んでいる。このエネルギーモニタの出力は、レーザ制御装置16Bを介して主制御装置50に供給されており、主制御装置50ではエネルギーモニタの出力に基づいてレーザ光のエネルギーパワーを検出し、レーザ制御装置16Bを介してDFB半導体レーザ160Aで発振されるレーザ光の光量を必要に応じて制御する。

【0052】

前記光アイソレータ160Bは、光カップラBS1からEOM160Cに向かう方向の光のみを通過させ、反対向きの光の通過を阻止する。この光アイソレータ160Bにより、反射光（戻り光）に起因するDFB半導体レーザ160Aの発振モードの変化や雑音等が防止される。

【0053】

前記EOM160Cは、光アイソレータ160Bを通過したレーザ光（CW光（連続光））をパルス光に変換するためのものである。EOM160Cとしては、チャープによる波長広がり小さくするように、チャープ補正を行った電極構造を持つ電気光学変調器（例えば二電極型変調器）が用いられている。EOM160Cは、光量制御装置16Cから印加される電圧パルスに同期して変調されたパルス光を出力する。なお、EOM160Cから出力される光パルス列は、後述する光増幅器161₁、161₂における増幅用光ファイバ175における添加元素全体の励起に要する時間よりは短く、増幅用光ファイバ175における増幅作用からみれば、連続的な光とみなせるものとなっている。例えば、EOM

10

20

30

40

50

M160CによりDFB半導体レーザ160Aで発振されたレーザ光を、パルス幅1ns、繰り返し周波数100kHz（パルス周期約10μs）のパルス光に変調する。なお、繰り返し周波数は、光ファイバ増幅器におけるASE（Amplified Spontaneous Emission：自然放出光）ノイズの影響を抑制できる値が選択される。

【0054】

なお、EOM160Cへの印加電圧とDFB半導体レーザ160Aへの供給電流制御とを併用して、出力光のパルス化を行うことが望ましい。かかる場合には、消光比を向上することができる。このようにすれば、EOM160Cのみを用いる場合に比べて、消光比を向上しつつ、パルス幅が狭いパルス光を容易に発生させることが可能になるとともに、パルス光の発振間隔や発振の開始及びその停止などをより簡単に制御することが可能になる。また、EOM160Cに代えて、音響光学変調器（AOM）を用いることも可能である。

【0055】

前記光分割器165は、パルス光発生部160から出力されたパルス光を2つに分割して、光増幅器161₁、161₂に出力する。

【0056】

前記光増幅器161₁、161₂は、光分割器165からのパルス光を増幅するものである。図3には、一方の光増幅器161₁の構成が示されている。この図3に示されるように、光増幅器161₁は、光分割器165からのパルス光を時間順に周期的に振り分けて分岐（例えば、128分岐）する光分岐器166と、複数の光増幅器としてのファイバ増幅器167とを備えている。

【0057】

光ファイバ増幅器167は、図3に示されるように、増幅用媒体としての増幅用光ファイバ175、励起光（ポンプ光）を発生する励起用半導体レーザ178₁、178₂、上述の光分割器165の出力光と励起光とを合成し、こうして得られた合成光を増幅用光ファイバ175に供給する波長分割多重化装置（Wavelength Division Multiplexer：WDM）179₁、179₂を備えている。ここで、励起用半導体レーザ178₁及びWDM179₁は前方励起に使用され、一方、励起用半導体レーザ178₂及びWDM179₂は後方励起に使用されている。これにより、入力光輝度に対する光増幅率の線形性の維持と、光増幅率との向上とを図っている。

【0058】

前記増幅用光ファイバ175としては、シリカガラス又はフォスフェイトガラスを主材とし、コアとクラッドを有し、コアにエルビウム（Er）が高密度にドープされた光ファイバが用いられる。すなわち、この光ファイバ増幅器167は、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器である。

【0059】

以上のように構成された光ファイバ増幅器167において、増幅用光ファイバ175に、励起用半導体レーザ178₁、178₂が発生した励起光がWDM179₁、179₂を介して供給された状態で、WDM179₁を介してパルス光が入射し増幅用光ファイバ175のコア中を進行すると、誘導放射が発生し、パルス光が増幅される。かかる光増幅にあたって、増幅用光ファイバ175は高い増幅率を有するので、波長の単一性が高い高輝度のパルス光が出力される。このため、効率良く狭帯域の光を得ることができる。

【0060】

前記励起用半導体レーザ178₁、178₂は、DFB半導体レーザ160Aにおける発振波長よりも短い波長の光を励起光として発生する。この励起光がWDM179₁、179₂を介して増幅用光ファイバ175に供給され、それによりErの殻外電子が励起され、いわゆるエネルギー準位の反転分布が発生する。なお、励起用半導体レーザ178₁、178₂は、光量制御装置16Cによって制御されるようになっている。

【0061】

10

20

30

40

50

各光ファイバ増幅器 167 で出力の一部が分岐され、それぞれの分岐端に設けられた光電変換素子 171 によってそれぞれ光電変換されるようになっている。これらの光電変換素子 171 の出力信号が光量制御装置 16C に供給されるようになっている。

【0062】

光量制御装置 16C では、各光ファイバ増幅器 167 からの光出力が一定になるように（即ちバランスするように）、各励起用半導体レーザ 178₁、178₂ のドライブ電流をフィードバック制御するようになっている。他方の光増幅器 161₂ も、上述した光増幅器 161₁ と同様に構成されている。

【0063】

図 2 に戻り、前記波長変換器 163 は、複数の非線形光学結晶を含み、前記増幅されたパルス光（波長 1546.9 nm の光）をその 8 倍高調波に波長変換して、ArF エキシマレーザとほぼ同じ出力波長（193.4 nm）のパルス紫外光を発生する。

【0064】

図 4 には、この波長変換器 163 の構成例が示されている。ここで、この図 4 に基づいて波長変換器 163 の具体例について説明する。図 4 の波長変換器 163 では、基本波（波長 1546.9 nm）→2 倍波（波長 773.5 nm）→3 倍波（波長 515.6 nm）→6 倍波（波長 257.8 nm）→7 倍波（波長 221.0 nm）→8 倍波（波長 193.4 nm）の順に波長変換が行われる。

【0065】

これを更に詳述すると、光増幅器 161₁ から出力された波長 1546.9 nm（周波数 ω ）の基本波は、集光レンズ 182A を介して 1 段目の非線形光学結晶 183A に入射する。この基本波がこの非線形光学結晶 183A を通過する際に、2 次高調波発生により、その基本波の周波数 ω の 2 倍、すなわち周波数 2ω （波長は $1/2$ の 773.5 nm）の 2 倍波が発生する。

【0066】

この 1 段目の非線形光学結晶 183A として、LiB₃O₅（LBO）結晶が用いられ、その基本波を 2 倍波に波長変換するための位相整合に LBO 結晶の温度調節による方法、ノンクリティカル位相整合、すなわち NCPM（Non-Critical Phase Matching）が使用される。NCPM は、非線形光学結晶内での基本波と第 2 高調波との角度ずれ（Walk-off）が起これないため高効率で 2 倍波への変換が可能であり、発生した 2 倍波は Walk-off によるビームの変形も受けないため有利である。

【0067】

非線形光学結晶 183A で波長変換されずに透過した基本波と、非線形光学結晶 183A の波長変換で発生した 2 倍波とは、次段の波長板 184 でそれぞれ半波長、1 波長の遅延が与えられる。そして、基本波のみ、その偏光方向が 90 度回転するようになる。これにより、その基本波及び 2 倍波の偏光方向が一致するようになる。波長板 184 を通過した基本波と 2 倍波は、集光レンズ 182B を介した後に、2 段目の非線形光学結晶 183B に入射する。2 段目の非線形光学結晶 183B として、例えば LBO 結晶が用いられるとともに、その LBO 結晶は 1 段目の非線形光学結晶（LBO 結晶）183A とは異なる温度で NCPM による位相整合が図られる。この非線形光学結晶 183B では、1 段目の非線形光学結晶 183A で発生した 2 倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶 183A を透過した基本波との和周波発生により、基本波の 3 倍波（波長 515.6 nm）が得られる。

【0068】

次に、非線形光学結晶 183B で得られた 3 倍波は、集光レンズ 182C を介して、3 段目の非線形光学結晶 183C に入射する。そして、この 3 倍波がこの 3 段目の非線形光学結晶 183C を通る際に、その 3 倍波の 2 次高調波発生により基本波の周波数 ω の 6 倍、すなわち周波数 6ω （波長は $1/6$ の 257.8 nm）の 6 倍波が発生する。この 3 段目の非線形光学結晶 183C としては、例えば β -BaB₂O₄（BBO）結晶又は CsL

$\text{LiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられる。

【0069】

非線形光学結晶 183C で得られた 6 倍波は、集光レンズ 182D を通過後、ダイクロイック・ミラー 185A により反射され、光増幅器 161₂ から出力され、集光レンズ 182E を通過した波長 1546.9 nm (周波数 ω) の基本波と同軸に合成され、4 段目の非線形光学結晶 183D に入射する。

【0070】

4 段目の非線形光学結晶 183D としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられる。この非線形光学結晶 183D では、基本波と 6 倍波との和周波発生により 7 倍波 (波長 221.0 nm) が得られる。上記構成において、7 倍波発生用 CLBO 結晶 183D のかわりに、 CsB_3O_5 (CBO) 結晶を用いることも可能である。

10

【0071】

非線形光学結晶 183D で得られた 7 倍波とそれを透過した基本波とは、ダイクロイック・ミラー 185B により分離される。ここを透過した基本波は、ミラー 185C で反射され、集光レンズ 182F を通過してダイクロイック・ミラー 185E に至る。そして、ダイクロイック・ミラー 185B で反射された 7 倍波は、ミラー 185D で反射され、集光レンズ 182G を通過してダイクロイック・ミラー 185E に至る。そして、その基本波と 7 倍波は、ダイクロイック・ミラー 185E で同軸に合成され、5 段目の非線形光学結晶 183E に入射する。なお、7 倍波のビーム整形用として、集光レンズ 182G の代わりにシリンドリカルレンズ対を用いることも可能である。

20

【0072】

5 段目の非線形光学結晶 183E としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられ、基本波と 7 倍波との和周波発生により、8 倍波 (波長 193.4 nm) が得られる。上記構成において、8 倍波発生用 CLBO 結晶 183E のかわりに、 LiB_4O_7 (LB4) 結晶を用いることも可能である。

【0073】

以上のように構成された波長変換器 163 において、光増幅器 161₁、161₂ によって増幅された基本波 (波長 1546.9 nm) を 5 段階で波長変換することにより、目的の波長 193.4 nm の光が得られる。

【0074】

30

図 1 に戻り、前記照明光学系 12 は、オプティカルインテグレータを含む照度均一化光学系、リレーレンズ、可変 ND フィルタ、レチクルブラインド、及びダイクロイック・ミラー等 (いずれも不図示) を備えている。ここで、オプティカルインテグレータとしては、フライアイレンズ、内面反射型インテグレータ (ロッドインテグレータ等) あるいは回折光学素子等が用いられる。こうした照明光学系 12 の構成は、例えば、特開平 6-349701 号公報などに開示されている。この照明光学系 12 から射出された露光光 IL は、ミラー M によって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ 32 を経て、レチクルステージ RST 上に保持されたレチクル R 上の矩形の照明領域 42R を均一な照度分布で照明する。

【0075】

40

前記レチクルステージ RST 上にレチクル R が載置され、不図示のバキュームチャック等を介して吸着保持されている。レチクルステージ RST は、水平面 (XY 平面) 内で微小駆動可能であるとともに、レチクルステージ駆動部 49 によって走査方向 (ここでは図 1 の紙面左右方向である Y 軸方向とする) に所定ストローク範囲で走査されるようになっている。この走査中のレチクルステージ RST の位置及び回転量は、レチクルステージ RST 上に固定された移動鏡 52R を介して外部のレーザ干渉計 54R によって計測され、このレーザ干渉計 54R の計測値が主制御装置 50 に供給されるようになっている。

【0076】

なお、レチクル R に用いる材質は、露光光 IL の波長により定められる。すなわち、本実施形態のように、光源装置 16 から出力される露光光が、波長 193 nm の光である場合

50

には合成石英を用いることができるが、後述するように、光源装置 16 から出力される露光光が、波長 157 nm の光であった場合には、ホタル石、フッ素がドーパされた合成石英、あるいは水晶などで形成する必要がある。

【0077】

前記投影光学系 PL は、例えば両側テレセントリックな縮小系であり、共通の Z 軸方向の光軸 AX を有する複数枚のレンズエレメントから構成されている。また、この投影光学系 PL としては、投影倍率 β が例えば $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ などのものが使用されている。このため、前述の如くして、露光光 IL によりレチクル R 上の照明領域 42 R が照明されると、そのレチクル R に形成されたパターンが投影光学系 PL によって投影倍率 β で縮小投影され、その像が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハ W 上のスリット状の露光領域 42 W に転写される。

【0078】

前記 XY ステージ 14 は、ウエハステージ駆動部 56 によって走査方向である Y 軸方向及びこれに直交する X 軸方向（図 1 における紙面直交方向）に 2 次元駆動されるようになっている。この XY ステージ 14 上に搭載された Z チルトステージ 58 上では、ウエハ W が、ウエハホルダ（不図示）を介して真空吸着等により保持されている。Z チルトステージ 58 は、例えば 3 つのアクチュエータ（ピエゾ素子又はボイスコイルモータなど）によってウエハ W の Z 軸方向の位置（フォーカス位置）を調整するとともに、XY 平面（投影光学系 PL の像面）に対するウエハ W の傾斜角を調整する機能を有する。また、XY ステージ 14 の位置は、Z チルトステージ 58 上に固定された移動鏡 52 W を介して外部のレーザ干渉計 54 W により計測され、このレーザ干渉計 54 W の計測値が主制御装置 50 に供給されるようになっている。

【0079】

ここで、移動鏡は、実際には、X 軸に垂直な反射面を有する X 移動鏡と Y 軸に垂直な反射面を有する Y 移動鏡とが存在し、これに対応してレーザ干渉計も X 軸位置計測用、Y 軸位置計測用、及び回転（ヨーイング量、ピッチング量、ローリング量を含む）計測用のものがそれぞれ設けられているが、図 1 では、これらが代表的に、移動鏡 52 W、レーザ干渉計 54 W として示されている。

【0080】

Z チルトステージ 58 上には、後述するレチクルアライメント等を行う際に使用される基準マーク板 FM が設けられている。この基準マーク板 FM は、その表面がウエハ W の表面とほぼ同一の高さとなるように配設されている。この基準マーク板 FM の表面上には、レチクルアライメント用基準マーク、ベースライン計測用基準マーク等の基準マークが形成されている。

【0081】

また、図 1 では図面の錯綜を避ける観点から図示が省略されているが、この露光装置 10 は、実際にはレチクルアライメントを行うための例えば、画像処理方式のレチクルアライメント系を備えている。

【0082】

レチクル R のアライメントを行う場合には、まず主制御装置 50 によりレチクルステージ駆動部 49、ウエハステージ駆動部 56 を介してレチクルステージ RST 及び XY ステージ 14 が駆動され、前述の露光領域 42 W の周辺部に基準マーク板 FM 上のレチクルアライメント用基準マークが設定され、その基準マークにレチクル R 上のレチクルマーク像がほぼ重なるようにレチクル R と Z チルトステージ 58 との相対位置が設定される。この状態で、主制御装置 50 によりレチクルアライメント系を用いて両マークが撮像され、主制御装置 50 では、その撮像信号を処理して対応する基準マークに対するレチクルマークの投影像の X 軸方向、Y 軸方向の位置ずれ量を算出する。かかるマークの撮像にあたっては、投影光学系 PL を介した像を撮像することになるので、露光光 IL の波長とほぼ同一の波長の光が使用される。

【0083】

10

20

30

40

50

また、上記のレチクルのアライメントの結果得られた基準マークの投影像の検出信号（画像信号）に含まれるコントラスト情報に基づいてフォーカスオフセットやレベリングオフセット（投影光学系 P L の焦点位置、像面傾斜など）を求めることも可能である。

【0084】

また、本実施形態では、上記のレチクルアライメント時に、主制御装置 50 によって、投影光学系 P L の側面に設けられた不図示のウエハ側のオフアクシス・アライメントセンサのベースライン量（レチクル投影位置とアライメントセンサとの相対位置関係）に関する基準マーク板上の所定マークを使用した計測も行われる。

【0085】

更に、本実施形態の露光装置 10 では、図 1 に示されるように、主制御装置 50 によってオン・オフが制御される光源を有し、投影光学系 P L の結像面に向けて多数のピンホールまたはスリットの像を形成するための結像光束を、光軸 A X に対して斜め方向より照射する照射光学系 60 a と、それらの結像光束のウエハ W 表面での反射光束を受光する受光光学系 60 b とからなる斜入射方式の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）が設けられている。なお、本実施形態と同様の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）の詳細な構成は、例えば特開平 6-283403 号公報等に関示されている。

【0086】

走査露光時等に、主制御装置 50 では、受光光学系 60 b からの各計測点について検出された Z 位置に基づいて、露光領域内に存在するショット領域の一部の表面の Z 位置及び傾斜量を逐次算出しつつ、この算出結果に基づいて Z チルトステージ 58 の Z 位置や傾斜角を不図示の駆動系を介して制御することにより、オートフォーカス（自動焦点合わせ）及びオートレベリングが実行される。

【0087】

前記主制御装置 50 は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダム・アクセス・メモリ）等から成るいわゆるマイクロコンピュータ（又はワークステーション）を備えており、これまでに説明した各種の制御を行う他、露光動作が的確に行われるように、例えばレチクル R とウエハ W の同期走査、ウエハ W のステージング、露光タイミング等を制御する。また、本実施形態では、主制御装置 50 は、後述するように走査露光の際の露光量の制御を行ったりする等の他、装置全体を統括制御する。

【0088】

具体的には、主制御装置 50 は、例えば走査露光時には、レチクル R がレチクルステージ R S T を介して +Y 方向（又は -Y 方向）に速度 $V_R = V$ で走査されるのに同期して、XY ステージ 14 を介してウエハ W が露光領域 42 W に対して -Y 方向（又は +Y 方向）に速度 $V_W = \beta \cdot V$ （ β はレチクル R からウエハ W に対する投影倍率）で走査されるように、レーザ干渉計 54 R、54 W の計測値に基づいてレチクルステージ駆動部 49、ウエハステージ駆動部 56 をそれぞれ介してレチクルステージ R S T、XY ステージ 14 の位置及び速度をそれぞれ制御する。また、ステージングの際には、主制御装置 50 はレーザ干渉計 54 W の計測値に基づいてウエハステージ駆動部 56 を介して XY ステージ 14 の位置を制御する。

【0089】

次に、本実施形態の露光装置 10 において所定枚数（N 枚）のウエハ W 上にレチクルパターンの露光を行う場合の露光シーケンスについて主制御装置 50 の制御動作を中心として説明する。

【0090】

まず、主制御装置 50 は、不図示のレチクルローダを用いて露光対象のレチクル R をレチクルステージ R S T 上にロードする。

【0091】

次いで、レチクルアライメント系を用いてレチクルアライメントを行うとともに、ベースライン計測を行う。

10

20

30

40

50

【0092】

次に、主制御装置50は、不図示のウエハ搬送系にウエハWの交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及びXYステージ14上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換（ステージ上にウエハが無い場合は、単なるウエハロード）が行われ、次いでいわゆるサーチアライメント及びファインアライメント（EGA等）の一連のアライメント工程の処理を行う。これらのウエハ交換、ウエハアライメントは、公知の露光装置と同様に行われるので、ここではこれ以上の詳細な説明は省略する。

【0093】

次に、上記のアライメント結果及びショットマップデータに基づいて、ウエハW上の各ショット領域の露光のための走査開始位置（加速開始位置）にウエハWを移動させる動作と、前述した走査露光動作とを繰り返して、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハW上の複数のショット領域にレチクルパターンを転写する。かかる走査露光中に、主制御装置50は、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウエハWに与えるため、光量制御装置16Cに指令を与え、露光光量の制御を行う。

【0094】

1枚目のウエハWに対する露光が終了すると、主制御装置50では、不図示のウエハ搬送系にウエハWの交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及びXYステージ14上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換が行われ、以後上記と同様にしてその交換後のウエハに対してサーチアライメント、ファインアライメントが行われる。

【0095】

そして、上記と同様に、このウエハW上の複数のショット領域にステップ・アンド・スキャン方式でレチクルパターンが転写される。

【0096】

なお、露光条件とレチクルパターンとの少なくとも一方の変更によって照度が変わるときは、ウエハW（レジスト）に適正な露光量が与えられるように、前述した周波数とピークパワーとの少なくとも一方を制御することが望ましい。このとき、周波数及びピークパワーの少なくとも一方に加えてレチクルR及びウエハWの走査速度を調整するようにしてもよい。

【0097】

以上詳細に述べたように、本実施形態では、1546.9nmの波長の光を段階的に所定波長（193.4nm）の光に変換する波長変換器163において、4段目以降の非線形光学結晶183D、183Eにおける波長変換においては、光増幅器161₂から出力された光が基本波として用いられる。このため、数段階の波長変換に用いられる非線形光学結晶183A～183Cを経て出力レベルが減衰した基本波ではなく、光増幅器161₂から得られる基本波を用いて、4段目以降の波長変換（その基本波と光増幅器161₁から得られた基本波の6倍波との和周波等）を実行することができる。したがって、本実施形態の光源装置では、従来の光源装置に比べて高い波長変換効率を得ることができる。

【0098】

逆に言えば、4段目以降の基本波を用いた波長変換には、他の光増幅器161₂から得られた基本波が用いられるので、光増幅器161₁の基本波の出力レベルを、4段目以降の波長変換に用いるためのレベルまで上げる必要がなくなる。したがって、本実施形態の光源装置では、1段目の波長変換に用いる光増幅器161₁の出力のピークパワーを抑制することができる。ピークパワーが抑制されると、光増幅器161₁から出力される光の波長をさらに狭帯域化することができるようになるというメリットがあり、この光源装置16は、露光装置10を始めとする狭帯域の波長の光を要する装置に特に有用となる。

【0099】

また、本第1の実施形態の露光装置10によれば、走査露光にあたって高輝度の照明光ILをレチクルRに照射できるので、レチクルRに形成されたパターンを精度良く効率的にウエハWに転写することができる。

【0100】

10

20

30

40

50

なお、上記実施形態では、光源装置 16 には、2つの光増幅器 161_1 、 161_2 のそれぞれの光の供給源として、パルス光発生部 160 が1つだけ備えられているとしたが、2つの光増幅器 161_1 、 161_2 のそれぞれの光の供給源として、レーザ光源 160A を備えるパルス光発生部 160 を2つ備えていてもよい。その際に、光源装置 16 は、光分割器 165 を備える必要がないことはいうまでもない。

【0101】

また、上記実施形態では、波長変換器 163 に基本波を出力する光増幅器を光増幅器 161_1 、 161_2 の2つとしたが、本発明はこれに限定されるものではなく、光増幅器が3つ以上備えられていてもよい。図5には、光増幅器が3つ備えられている場合の波長変換器 163 の構成が示されている。なお、ここでは、光源装置 16 が、3番目の光増幅器として光増幅器 161_3 をさらに備えているものとする。光増幅器 161_3 は、光増幅器 161_1 、 161_2 と同様に、光分割器 165 において、分岐された光を入力するようにしてもよいし、パルス光発生部 160 とは異なる別のパルス光発生部から出力された光を入力するようにしてもよい。

【0102】

図5に示されるように、この波長変換器 163 は、複数の非線形光学結晶を含み、前記増幅されたパルス光（波長 1546.9 nm の光）を、その8倍高調波に波長変換して、ArFエキシマレーザの発振波長と略同一波長（ 193.4 nm ）であるパルス紫外光を発生する点においては、図4の波長変換器 163 と同じである。

【0103】

図5の波長変換器 163 では、図4に示される波長変換器 163 と同様に、基本波（波長 1546.9 nm ）→2倍波（波長 773.5 nm ）→3倍波（波長 515.6 nm ）→6倍波（波長 257.8 nm ）→7倍波（波長 221.0 nm ）→8倍波（波長 193.4 nm ）の順に波長変換が行われる。そして、図5の波長変換器 163 では、7倍波が得られる非線形光学結晶 183D までの各要素の構成および動作は、図4の波長変換器 163 と同一であるため、それらの説明を省略する。

【0104】

図5に示されるように、非線形光学結晶 183D で得られた7倍波は、集光レンズ 182F を介して、ダイクロイック・ミラー 185B で光増幅器 161_3 から出力され集光レンズ 182G を通過した光と同軸に合成され、非線形光学結晶 183E に入射する。

【0105】

5段目の非線形光学結晶 183E としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ （CLBO）結晶が用いられ、基本波と7倍波との和周波発生により、8倍波（波長 193.4 nm ）が得られる。

【0106】

以上述べたように、図5の波長変換器 163 は、5段目の非線形光学結晶 183E に入射される基本波として、光増幅器 161_2 から入力され、4段目の非線形光学結晶 183D を通過した基本波ではなく、光増幅器 161_3 から入力された基本波が用いられる。したがって、非線形光学結晶 183D を経て出力レベルが減衰した基本波ではなく、光増幅器 161_3 から得られる基本波を用いて5段目の波長変換を実行することができる。そのため、図5の波長変換器 163 を用いれば、図4の波長変換器 163 を用いるよりもさらに高い波長変換効率を得ることができる。また、図5の波長変換器 163 は、図4の波長変換器 163 に比べ、ダイクロイック・ミラーの数を減らすことができ（図4ではダイクロイック・ミラー 185A、185B、185E の3個→2個）、7倍波に対して基本波を迂回させる経路を設ける必要がなくなるので、簡単な構成とすることができる。なお、前述のように、非線形光学結晶 183C、183D の後に、Walk-off 補正用のシリンドリカルレンズ対を用い、ビーム整形を行うことにより、波長変換の効率をさらに高めることが可能となる。その他の光の経路においても、波長板やシリンドリカルレンズ対を適宜用いることができる。

【0107】

また、この他にも、波長変換器 163 の構成には、様々な変形例が考えられる。図 6 には、波長変換器 163 の構成の変形例が示されている。図 6 (a)、図 6 (b) に示される波長変換器 163 では、基本波 (波長 1546.9 nm) → 2 倍波 (波長 773.5 nm) → 3 倍波 (波長 515.6 nm) → 4 倍波 (波長 386.7 nm) → 7 倍波 (波長 221.0 nm) → 8 倍波 (波長 193.4 nm) の順に波長変換が行われる。なお、図 6 (a) の波長変換器 163 では、3 倍波が得られる非線形光学結晶 183B までの構成は、図 4 の波長変換器 163 と同一であるため、それらの説明を省略する。

【0108】

図 6 (a) に示されるように、非線形光学結晶 183B で波長変換されずに透過した基本波と、非線形光学結晶 183B の波長変換で発生した 3 倍波とは、集光レンズ 182C を通過して、3 段目の非線形光学結晶 183C に入射する。そして、その基本波と 3 倍波との和周波発生により、基本波の周波数 ω の 4 倍、すなわち周波数 4ω (波長は $1/4$ の 386.7 nm) の 4 倍波が発生する。この 3 段目の非線形光学結晶 183C としては、例えば $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ (GdYCOB) 結晶が用いられる。 GdYCOB においても、NCPM (Non-Critical Phase Matching) が使用される。

【0109】

次に、非線形光学結晶 183C で波長変換されずに透過した 3 倍波と、非線形光学結晶 183C の波長変換で発生した 4 倍波とは、集光レンズ 182D を介して、4 段目の非線形光学結晶 183D に入射する。そして、この 3 倍波と 4 倍波とがこの 4 段目の非線形光学結晶 183D を通過する際に、その 3 倍波と 4 倍波との和周波発生により、基本波の周波数 ω の 7 倍、すなわち周波数 7ω (波長は $1/7$ の 221.0 nm) の 7 倍波が発生する。この 4 段目の非線形光学結晶 183D としては、例えば $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (BBO) 結晶が用いられる。

【0110】

非線形光学結晶 183D で得られた 7 倍波は、集光レンズ 182E を通過後、ダイクロイック・ミラー 185A により反射され、光増幅器 161₂ から出力された波長 1546.9 nm (周波数 ω) の基本波と同軸に合成され、5 段目の非線形光学結晶 183E に入射する。

【0111】

5 段目の非線形光学結晶 183E としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられ、その基本波と 7 倍波との和周波発生により、8 倍波 (波長 193.4 nm) が得られる。上記構成において、8 倍波発生用 CLBO 結晶 183E のかわりに、 CsB_3O_5 (CBO) 結晶を用いることも可能である。

【0112】

以上のように構成された図 6 (a) に示される波長変換器 163 において、光増幅器 161₁、161₂ によって増幅された基本波 (波長 1546.9 nm) を波長変換することにより、目的の波長 193.4 nm の光が得られる。

【0113】

また、図 6 (b) に示される波長変換器 163 では、6 倍波を得るまでの構成及び動作は、図 4 の波長変換器 163 と同一であるので、それらの説明を省略する。図 6 (b) に示されるように、光増幅器 161₂ から出力された波長 1546.9 nm (周波数 ω) の基本波は、集光レンズ 182E を介して 4 段目の非線形光学結晶 183D に入射する。この基本波がこの非線形光学結晶 183D を通過する際に、2 次高調波発生により、その基本波の周波数 ω の 2 倍、すなわち周波数 2ω (波長は $1/2$ の 773.5 nm) の 2 倍波が発生する。

【0114】

この 4 段目の非線形光学結晶 183D として、 LiB_3O_5 (LBO) 結晶が用いられ、その基本波を 2 倍波に波長変換するための位相整合に LBO 結晶の温度調節による方法、NCPM (Non-Critical Phase Matching) が使用される。

【0115】

非線形光学結晶183Cで得られた6倍波は、集光レンズ182Dを通過後、ダイクロイック・ミラー185Aにより反射され、非線形光学結晶183Dで発生した2倍波と同軸に合成され、5段目の非線形光学結晶183Eに入射する。

【0116】

5段目の非線形光学結晶183Eとして、 β -BaB₂O₄ (BBO) 結晶が用いられ、その2倍波と6倍波との和周波発生により、8倍波(波長193.4nm)が得られる。

【0117】

以上のように構成された図6(b)に示される波長変換器163において、光増幅器161₁、161₂によって増幅された基本波(波長1546.9nm)を波長変換することにより、目的の波長193.4nmの光が得られる。 10

【0118】

図7には、波長変換器163の構成の他の変形例が示されている。図7(a)に示される波長変換器163では、基本波(波長1546.9nm)→2倍波(波長773.5nm)→3倍波(波長515.6nm)→7倍波(波長221.0nm)→8倍波(波長193.4nm)の順に波長変換が行われる。図7(a)の波長変換器163では、光増幅器161₁から出力された波長1546.9nm(周波数 ω)の基本波を入力するところから3倍波が得られる非線形光学結晶183Bまでの構成は、図4の波長変換器163と同一であるため、それらの説明を省略する。

【0119】

一方、上記波長変換とは別に、図7(a)、図7(b)の波長変換器では、上述の3倍波(波長515.6nm)から7倍波への変換の際に用いる4倍波(波長386.7nm)を得るために、基本波(波長1546.9nm)→2倍波(波長773.5nm)→4倍波(波長386.7nm)の波長変換も実行される。 20

【0120】

図7(a)に示されるように、光増幅器161₂から出力された波長1546.9nm(周波数 ω)の基本波は、集光レンズ182Dを介して1段目の非線形光学結晶183Cに入射する。この基本波がこの非線形光学結晶183Cを通過する際に、2次高調波発生により、その基本波の周波数 ω の2倍、すなわち周波数 2ω (波長は $1/2$ の773.5nm)の2倍波が発生する。なお、この1段目の非線形光学結晶183Cとして、LBO結晶が用いられ、その基本波を2倍波に波長変換するための位相整合にLBO結晶の温度調節による方法、ノンクリティカル位相整合、すなわちNCPMが使用される。 30

【0121】

そして、この2倍波が2段目の非線形光学結晶183Dを通過する際に、2次高調波発生により、基本波の周波数 ω の4倍、すなわち周波数 4ω (波長は $1/4$ の386.7nm)の4倍波が発生する。なお、この非線形光学結晶183Dとしては、LBO結晶が用いられる。

【0122】

非線形光学結晶183Dで得られた4倍波は、集光レンズ182Fを通過後、ミラー185B及びダイクロイック・ミラー185Aにより反射され、非線形光学結晶183Bで得られ集光レンズ182Cを通過した3倍波と同軸に合成され、3段目の非線形結晶183Eに入射する。3段目の非線形光学結晶183Eとしては、BBO結晶が用いられる。この非線形光学結晶183Eでは、3倍波と4倍波との和周波発生により7倍波(波長221.0nm)が得られる。 40

【0123】

非線形光学結晶183Eで得られた7倍波は、集光レンズ182Hを通過後、ダイクロイック・ミラー185Cにより反射され、光増幅器161₃から出力され、集光レンズ182Iを通過した波長1546.9nm(周波数 ω)の基本波と同軸に合成され、4段目の非線形光学結晶183Fに入射する。

【0124】

4 段目の非線形光学結晶 1 8 3 F としては、C L B O 結晶が用いられ、その基本波と 7 倍波との和周波発生により、8 倍波（波長 1 9 3 . 4 n m）が得られる。

【0 1 2 5】

以上のように構成された図 7（a）に示される波長変換器 1 6 3 において、光増幅器 1 6 1₁、1 6 1₂、1 6 1₃ によって増幅された基本波（波長 1 5 4 6 . 9 n m）を波長変換することにより、目的の波長 1 9 3 . 4 n m の光が得られる。

【0 1 2 6】

図 7（b）に示される波長変換器 1 6 3 では、光増幅器 1 6 1₁ から出力された波長 1 5 4 6 . 9 n m（周波数 ω ）の基本波を入力するところから 3 倍波が得られる非線形光学結晶 1 8 3 B までの構成と、光増幅器 1 6 1₂ から出力された波長 1 5 4 6 . 9 n m（周波数 ω ）の基本波を入力するところから 4 倍波が得られる非線形光学結晶 1 8 3 D までの構成は、図 7（a）の波長変換器 1 6 3 と同じである。

【0 1 2 7】

2 段目の非線形光学結晶 1 8 3 D で得られ、集光レンズ 1 8 2 F を通過した 4 倍波は、ダイクロイック・ミラー 1 8 5 B、1 8 5 A で反射される。これにより、その 4 倍波は、2 段目の非線形光学結晶 1 8 3 B で得られ、集光レンズ 1 8 2 C を通過した 3 倍波と同軸に合成され、3 段目の非線形光学結晶 1 8 3 E に入射する。これにより、3 段目の非線形光学結晶 1 8 3 E では、図 7（a）の波長変換器 1 6 3 と同様に、7 倍波が得られるようになる。

【0 1 2 8】

一方、光増幅器 1 6 1₂ から出力され、集光レンズ 1 8 2 D、非線形光学結晶 1 8 3 C、集光レンズ 1 8 2 E、非線形光学結晶 1 8 3 D、集光レンズ 1 8 2 F を通過した基本波は、ダイクロイック・ミラー 1 8 5 B を通過し、ミラー 1 8 5 D で反射され、集光レンズ 1 8 2 I を通過して、ダイクロイック・ミラー 1 8 5 C に至る。

【0 1 2 9】

そして、非線形光学結晶 1 8 3 E で得られ、集光レンズ 1 8 2 H を通過した 7 倍波は、ダイクロイック・ミラー 1 8 5 C で反射され、ミラー 1 8 5 D より入射した基本波と同軸に合成されて、4 段目の非線形光学結晶 1 8 3 F に入射する。

【0 1 3 0】

非線形光学結晶 1 8 3 F としては、図 7（a）の波長変換器と同様に、C L B O 結晶が用いられ、その基本波と 7 倍波との和周波発生により、8 倍波（波長 1 9 3 . 4 n m）が得られる。

【0 1 3 1】

以上のように構成された図 7（b）に示される波長変換器 1 6 3 において、光増幅器 1 6 1₁、1 6 1₂ によって増幅された基本波（波長 1 5 4 6 . 9 n m）を波長変換することにより、目的の波長 1 9 3 . 4 n m の光が得られる。

【0 1 3 2】

以上述べたように、図 7（a）、図 7（b）の波長変換器 1 6 3 では、非線形光学結晶の 4 段構成により、1 9 3 . 4 n m の光を得ることができるので、非線形光学結晶が 5 段に構成された図 6（a）、図 6（b）の波長変換器 1 6 3 よりも高い波長変換効率を得ることができる。

【0 1 3 3】

また、上記実施形態の光源装置は、1 9 3 n m 近傍の波長の光に変換する装置であったが、本発明はこれに限定されるものではなく、F₂ レーザの発振波長と略同一の波長等の他の波長に変換して出力する光源装置にも適用することができる。

【0 1 3 4】

図 8 には、F₂ レーザの発振波長と略同一の波長に変換する波長変換器 1 6 3 の構成が示されている。図 8 に示される波長変換器 1 6 3 では、基本波（波長 1 5 7 6 n m）→2 倍波（波長 7 8 8 n m）→3 倍波（波長 5 2 5 . 3 n m）→6 倍波（波長 2 6 2 . 7 n m）→7 倍波（波長 2 2 5 . 1 n m）→8 倍波（波長 1 9 7 n m）→9 倍波（波長 1 7 5 . 1

10

20

30

40

50

nm) → 10 倍波 (波長 157.6 nm) の順に波長変換が行われる。なお、図 8 の波長変換器 163 では、8 倍波を得るまでの構成及び動作は、図 5 の波長変換器 163 と同一であるので、それらの説明を省略する。また、図 8 では、光源装置 16 が光増幅器を 5 つ備えているものとする (光増幅器 161₁ ~ 161₅)。

【0135】

図 8 に示されるように、非線形光学結晶 183E で得られ、集光レンズ 182H を通過した 8 倍波は、ダイクロイック・ミラー 185C で、光増幅器 161₄ から出力され、集光レンズ 182I を通過した光と同軸に合成され、非線形光学結晶 183F に入射する。

【0136】

6 段目の非線形光学結晶 183F としては、CBO 結晶又は KBBF (KBe₂BO₃F₂: Potassium Fluoroborate beryl late) が用いられ、その結晶に入射した基本波と 8 倍波との和周波発生により、9 倍波 (波長 175.1 nm) が得られる。

【0137】

非線形光学結晶 183F で得られた 9 倍波は、ダイクロイック・ミラー 185D で光増幅器 161₅ から出力され、集光レンズ 182K を通過した光と同軸に合成され、非線形光学結晶 183G に入射する。7 段目の非線形光学結晶 183G としては、BaMgF₄ (BMF) 結晶が用いられ、基本波と 9 倍波との和周波発生により、10 倍波 (波長 157.6 nm) が得られる。

【0138】

この BMF 結晶は、周期的ドメイン反転構造を有する非線形光学素子 (以下、「QPM 素子」又は「擬似位相整合結晶」という) である。BMF 結晶は、擬似位相整合 (QPM: Quasi-Phase Matching) により、基本波と 9 倍波との和周波を発生させるので、NCPM の場合と同様に、Walk-off は発生しない。

【0139】

図 9 に示されるように、QPM 素子 183' は、光の進行方向に沿って、図 9 において紙面上下方向の矢印で表される分極方向が互いに反対向きの領域 150A 及び領域 150B が交互かつ周期的に形成された周期的ドメイン反転構造を有している。

【0140】

なお、擬似位相整合結晶では、領域 150A 及び領域 150B の光の進行方向に沿った幅 Λ は、以下のように設定されている。

【0141】

擬似位相整合結晶を用いて、第 2 高調波を発生させる場合には、QPM 素子 183' 内において、入射光の波数ベクトルの絶対値を k_1 とし、生成される第 2 高調波の波数ベクトルの絶対値を k_2 として、

$$\Lambda = 2\pi / (k_2 - 2k_1) \quad \dots (1)$$

によって定められる。

【0142】

和周波を発生させる場合には、QPM 素子 183' 内において、入射光の波数ベクトルの絶対値を k_3 、 k_4 とし、生成される和周波の波数ベクトルの絶対値を k_5 として、

$$\Lambda = 2\pi / (k_5 - (k_3 + k_4)) \quad \dots (2)$$

によって定められる。

【0143】

上述したように、図 8 に示される波長変換器 163 では、BaMgF₄ (BMF) 結晶を用いて 10 倍波 (波長 157.6 nm) が得るが、その際に BMF 結晶に入射する入射光は、2 倍波及び 8 倍波や、3 倍波及び 7 倍波などではなく、基本波及び 9 倍波とするのが望ましい。このようにすれば、上述した BMF 結晶の周期 Λ を約 3 μm とすることができ、BMF 結晶の製造が容易となる。なお、157.6 nm の波長の光を、例えば、BMF 結晶において第 2 高調波発生により発生させようとする、BMF 結晶の周期は約 1 μm となる。すなわち、2 つの入射光の波長の差を大きくすればするほど、周期 Λ を長くする

10

20

30

40

50

ことができ、その製造を容易なものとすることができる。

【0144】

また、こうしたQPM素子183'としては、周期的ドメイン反転LN(LiNbO₃)結晶(PPLN結晶)、周期的ドメイン反転LT(LiTaO₃)結晶(PPLT結晶)、周期的ドメイン反転KTP(KTiOPO₄)結晶(PPKTP結晶)及び応力利用により周期的ドメイン反転構造が形成された水晶(以下、「水晶QPM素子」という)がある。

【0145】

例えば、図4、図5、図6(a)、図6(b)、図7(a)、図7(b)に示される波長変換器163における2倍波、3倍波発生用の非線形光学素子183A、183Bとして、擬似位相整合結晶であるPPKTP結晶やPPLN結晶を用いてもよい。かかる結晶は、狭帯域の波長193.4nmの光を得るのに適している。すなわち、これらの結晶を用いれば、光増幅器161₁等のピークパワーを低くしても波長変換効率を保つことができるとともに、エルビウム・ドープ・ファイバ中でのSPM(自己位相変調)によるスペクトル幅の拡大を抑制することができる。

【0146】

《第2の実施形態》

次に、本発明の第2の実施形態について、図10～図18に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については同一の符号を用いるとともにその説明を省略するものとする。

【0147】

第2の実施形態における露光装置は、光源装置16の代わりに、光源装置16'を備えている点が、図1に示される露光装置の構成と異なっている。図10には、第2の実施形態に係る光源装置16'の構成が概略的に示されている。図10に示されるように、光源装置16'の光源部16A'は、パルス光発生部160に加え、パルス光発生部190を備え、光増幅器161₂の代わりに光増幅器191₁を新たに備えている点が、図2に示される光源装置16の光源部16Aと異なっている。

【0148】

前記パルス光発生部190は、レーザ光源190A、光カップラBS2、光アイソレータ190B及び光変調器としての電気光学変調器(以下、「EOM」という)190C等を有する。なお、レーザ光源190Aから波長変換器163までの間の各要素間は、光ファイバ等によって光学的に接続されている。

【0149】

レーザ光源190A、光カップラBS2、光アイソレータ190B、EOM190Cの構成及び動作は、レーザ光源160A、光カップラBS1、光アイソレータ160B、EOM160Cと同じである。但し、レーザ光源190Aとしては、例えば、発振波長1030nm～1120nmの狭帯域イットリビウム(Yb)添加DFBファイバレーザ、あるいは単一波長発振DFB半導体レーザなどが用いられている。以下においては、レーザ光源190Aを適宜「DFB半導体レーザ190A」とも呼ぶものとする。

【0150】

光増幅器191₁の構成は、光増幅器161₁の構成とほぼ同じであるが、内部に備えられる増幅用光ファイバのコアにはエルビウム(Er)ではなく、イッテルビウム(Yb)が高密度にドープされた光ファイバが用いられる。すなわち、この光増幅器191₁は、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器である。なお、この光増幅器191₁の帯域幅は、1030nm以上1120nm以下である。

【0151】

前記ビームモニタ機構164は、レーザ光源160A及びレーザ光源190Aのエネルギーをモニタし、主制御装置50では、そのエネルギーモニタの出力に基づいてそれらのレーザ光のエネルギーパワーを検出し、レーザ制御装置16Bを介してDFB半導体レーザ160A、190Aで発振されるレーザ光の光量を必要に応じて制御する。

10

20

30

40

50

【0152】

また、光量制御装置16Cでは、光増幅器161₁、191₁の各光ファイバ増幅器167からの光出力が一定になるように（即ちバランスするように）、光増幅器161₁、191₁の各励起用半導体レーザ178₁、178₂のドライブ電流をフィードバック制御するようになっている。

【0153】

前記波長変換器163は、複数の非線形光学結晶を含み、増幅されたパルス光、すなわち波長1105nmの光を第1基本波とし、波長1546.9nmの光を第2基本波とする波長変換を実行して、ArFエキシマレーザと同じ出力波長（193.4nm）のパルス紫外光を発生させる。

【0154】

なお、図10では、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器161₁、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器191₁だけが図示されているが、これらは、後述する波長変換器163の構成に応じて複数備えられていてもよい。なお、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器を複数備える場合には、161₁、161₂・・・というように参照番号が付与され、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器を複数備える場合には、191₁、191₂・・・というように参照番号が付与されるものとする。また、図10では、光源装置16'には、2つの光増幅器161₁、191₁のそれぞれの光の供給源として、パルス光発生部160、190が1つだけ備えられているとしたが、2つの光増幅器161₁、161₂・・・、191₁、191₂・・・のそれぞれの光の供給源として、レーザ光源160A、190Aを備えるパルス光発生部160、190を複数備えていてもよい。

【0155】

図11、図12には、この波長変換器163の構成の一例が示されている。ここで、これらの図に基づいて波長変換器163の具体例について説明する。

【0156】

図11(a)、図11(b)、図12(a)、図12(b)の波長変換器163では、第1基本波（波長1105nm）の5倍波と第2基本波（波長1546.9nm）との和周波発生により、ArFエキシマレーザと同じ出力波長（193.4nm）のパルス紫外光が得られる。

【0157】

これを更に詳述すると、図11(a)に示されるように、光増幅器191₁から出力された波長1105nm（周波数 ω_1 ）の第1基本波は、集光レンズ182Aを介して、1段目の非線形光学結晶183Aに入射する。この第1基本波がこの非線形光学結晶183Aを通過する際に、2次高調波発生により、その第1基本波の周波数 ω_1 の2倍、すなわち周波数 $2\omega_1$ （波長は $1/2$ の552.5nm）の2倍波が発生する。

【0158】

この1段目の非線形光学結晶183Aとして、LiB₃O₅（LBO）結晶が用いられ、その基本波を2倍波に波長変換するための位相整合にLBO結晶の温度調節による方法、NCPM（Non-Critical Phase Matching）が使用される。非線形光学結晶183Aで波長変換されずに透過した第1基本波は、ダイクロイック・ミラー185Aで反射されるが、非線形光学結晶183Aの波長変換で発生した2倍波は、ダイクロイック・ミラー185Aを透過し、集光レンズ182Bを介して非線形光学結晶183Bに入射する。

【0159】

この2倍波がこの非線形光学結晶183Bを通過する際に、2次高調波発生により、その第1基本波の周波数 ω_1 の4倍、すなわち周波数 $4\omega_1$ （波長は $1/4$ の276.3nm）の4倍波が発生する。なお、2段目の非線形光学結晶183Bとしては、CsLiB₆O₁₀（CLBO）結晶が用いられる。

【0160】

10

20

30

40

50

ダイクロイック・ミラー 185 A で反射された第 1 基本波は、ミラー 185 C で反射され、集光レンズ 182 D を介してダイクロイック・ミラー 185 D を透過する。そして、非線形光学結晶 183 B において発生した 4 倍波は、ミラー 185 B で反射され、集光レンズ 182 C を介してダイクロイック・ミラー 185 D で反射されて、第 1 基本波と同軸に合成され、3 段目の非線形光学結晶 183 C に入射する。

【0161】

3 段目の非線形光学結晶 183 C としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられる。この非線形光学結晶 183 C では、第 1 基本波の 4 倍波と、第 1 基本波との和周波発生により第 1 基本波の 5 倍波 (波長 221.0 nm) が得られる。

【0162】

非線形光学結晶 183 C で得られた 5 倍波は、集光レンズ 182 E を通過後、ダイクロイック・ミラー 185 E により反射され、光増幅器 161₁ から出力され集光レンズ 182 F を通過した波長 1546.9 nm (周波数 ω_2) の第 2 基本波と同軸に合成され、4 段目の非線形光学結晶 183 D に入射する。4 段目の非線形光学結晶 183 D としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられる。この非線形光学結晶 183 D では、第 1 基本波の 5 倍波と第 2 基本波との和周波発生により波長 193.4 nm の光が得られる。

【0163】

また、図 11 (b) に示されるように、光増幅器 191₁ から出力された波長 1105 nm (周波数 ω_1) の第 1 基本波は、集光レンズ 182 A を介して、1 段目の非線形光学結晶 183 A に入射する。この第 1 基本波がこの非線形光学結晶 183 A を通過する際に、2 次高調波発生により、その第 1 基本波の 2 倍波が発生する。この 1 段目の非線形光学結晶 183 A として、図 11 (a) の波長変換器 163 と同様に、 LiB_3O_5 (LBO) 結晶が用いられる。

【0164】

非線形光学結晶 183 A で波長変換されずに透過した第 1 基本波と、非線形光学結晶 183 A の波長変換で発生した 2 倍波とは、集光レンズ 182 B を介して非線形光学結晶 183 B に入射する。この 2 倍波がこの非線形光学結晶 183 B を通過する際に、2 次高調波発生により、その第 1 基本波の周波数 ω_1 の 4 倍波が発生する。なお、2 段目の非線形光学結晶 183 B としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられる。

【0165】

非線形光学結晶 183 B で得られた 4 倍波は、集光レンズ 182 C を通過後、ダイクロイック・ミラー 185 A により反射され、光増幅器 191₂ から出力され、集光レンズ 182 D を通過した波長 1105 nm (周波数 ω_1) の第 1 基本波と同軸に合成され、3 段目の非線形光学結晶 183 C に入射する。3 段目の非線形光学結晶 183 C としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられる。この非線形光学結晶 183 C では、第 1 基本波の 4 倍波と、第 1 基本波との和周波発生により第 1 基本波の 5 倍波 (波長 221.0 nm) が得られる。

【0166】

非線形光学結晶 183 C で得られた 5 倍波は、集光レンズ 182 E を通過後、ダイクロイック・ミラー 185 B により反射され、光増幅器 161₁ から出力され、集光レンズ 182 F を通過した波長 1546.9 nm (周波数 ω_2) の第 2 基本波と同軸に合成され、4 段目の非線形光学結晶 183 D に入射する。4 段目の非線形光学結晶 183 D としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられる。この非線形光学結晶 183 D では、第 1 基本波の 5 倍波と第 2 基本波との和周波発生により波長 193.4 nm の光が得られる。

【0167】

また、図 12 (a) に示されるように、光増幅器 191₁ から出力された波長 1105 nm (周波数 ω_1) の第 1 基本波は、集光レンズ 182 A を介して、1 段目の非線形光学結晶 183 A に入射する。この第 1 基本波がこの非線形光学結晶 183 A を通過する際に、

10

20

30

40

50

2次高調波発生により、その第1基本波の周波数 ω_1 の2倍、すなわち周波数 $2\omega_1$ （波長は $1/2$ の552.5 nm）の2倍波が発生する。この1段目の非線形光学結晶183Aとして、 LiB_3O_5 （LBO）結晶が用いられる。

【0168】

非線形光学結晶183Aで得られた第1基本波の2倍波は、集光レンズ182Bを通過後、ダイクロイック・ミラー185Aにより反射され、光増幅器161₁から出力され、集光レンズ182Cを通過した波長1546.9 nm（周波数 ω_2 ）の第2基本波と同軸に合成され、2段目の非線形光学結晶183Bに入射する。2段目の非線形光学結晶183Bとしては、擬似位相整合結晶である前述のPPKTP結晶が用いられる。この非線形光学結晶183Bでは、第1基本波の2倍波と第2基本波との和周波発生により、第1基本波の2倍波及び第2基本波の和周波（波長407.1 nm）が得られる。 10

【0169】

非線形光学結晶183Bの波長変換で発生した和周波は、集光レンズ182Dを介して非線形光学結晶183Cに入射する。

【0170】

この和周波がこの非線形光学結晶183Cを通過する際に、第1基本波の4倍波と第2基本波との和周波（波長は234.4 nm）が発生する。なお、3段目の非線形光学結晶183Cとしては、BBO結晶が用いられる。

【0171】

非線形光学結晶183Cで得られた第1基本波の4倍波と第2基本波との和周波は、集光レンズ182Eを通過後、ダイクロイック・ミラー185Bにより反射され、光増幅器191₂から出力され、集光レンズ182Fを通過した波長1105 nm（周波数 ω_1 ）の第1基本波と同軸に合成され、4段目の非線形光学結晶183Dに入射する。 20

【0172】

4段目の非線形光学結晶183Dとしては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ （CLBO）結晶が用いられる。この非線形光学結晶183Dでは、第1基本波の5倍波と第2基本波との和周波（波長193.4 nm）が得られる。

【0173】

また、図12（b）に示されるように、光増幅器191₁から出力された波長1105 nm（周波数 ω_1 ）の第1基本波は、集光レンズ182Aを介して、1段目の非線形光学結晶183Aに入射する。この第1基本波がこの非線形光学結晶183Aを通過する際に、2次高調波発生により、その第1基本波の周波数 ω_1 の2倍、すなわち周波数 $2\omega_1$ （波長は $1/2$ の552.5 nm）の2倍波が発生する。この1段目の非線形光学結晶183Aとして、 LiB_3O_5 （LBO）結晶が用いられる。 30

【0174】

非線形光学結晶183Aで得られた第1基本波の2倍波は、ダイクロイック・ミラー185Aで反射され、集光レンズ182Bを通過後、ダイクロイック・ミラー185Cにより反射され、光増幅器161₁から出力され、集光レンズ182Cを通過した波長1546.9 nm（周波数 ω_2 ）の第2基本波と同軸に合成され、2段目の非線形光学結晶183Bに入射する。2段目の非線形光学結晶183Bとしては、擬似位相整合結晶である前述のPPKTP結晶が用いられる。この非線形光学結晶183Bでは、第1基本波の2倍波と第2基本波との和周波発生により、第1基本波の2倍波及び第2基本波の和周波（波長407.1 nm）が得られる。非線形光学結晶183Bの波長変換で発生した和周波は、集光レンズ182Dを介して非線形光学結晶183Cに入射する。 40

【0175】

この和周波がこの非線形光学結晶183Cを通過する際に、第1基本波の4倍波と第2基本波との和周波（波長は234.4 nm）が発生する。なお、3段目の非線形光学結晶183Cとしては、BBO結晶が用いられる。

【0176】

一方、ダイクロイック・ミラー185Aを通過した第1基本波は、ミラー185Bにより 50

反射され、集光レンズ 182 F を通過して、ダイクロイック・ミラー 185 D に入射する。非線形光学結晶 183 C で得られた第 1 基本波の 4 倍波と第 2 基本波との和周波は、集光レンズ 182 E を通過後、その第 1 基本波と同軸に合成され、4 段目の非線形光学結晶 183 D に入射する。4 段目の非線形光学結晶 183 D としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられる。この非線形光学結晶 183 D では、第 1 基本波の 5 倍波と第 2 基本波との和周波 (波長 193.4 nm) が得られる。

【0177】

以上のように構成された波長変換器 163 において、光増幅器 191₁ などから出力された第 1 基本波 (波長 1105.0 nm) と、光増幅器 161₁ などから出力された第 2 基本波 (波長 1546.9 nm) とを入射光として波長変換することにより、目的の波長 193.4 nm の光が得られる。

【0178】

なお、2 段目の非線形光学結晶 183 B として $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (ADP) 結晶を用いる場合には、非線形光学結晶 183 B 内で第 1 基本波とその第 2 高調波との角度ずれ (Walk-off) が起こらないため、図 11 (a) のダイクロイック・ミラー 185 A → ミラー 185 C → 集光レンズ 182 D → ダイクロイック・ミラー 185 D の第 1 基本波迂回用の経路を構成する必要がなくなる。したがって、2 段目の非線形光学結晶 183 B として $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (ADP) 結晶を用いる場合には、波長変換器 163 を、図 13 に示されるような構成とすることができる。

【0179】

以上述べたように、図 11 (a)、図 11 (b)、図 12 (a)、図 12 (b)、及び図 13 に示されるような波長変換器 163 では、第 1 基本波 (波長 1105 nm) の 5 倍波と第 2 基本波 (波長 1546.9 nm) との和周波発生により、非線形光学結晶の 4 段階構成 (4 段階の波長変換) によって ArF エキシマレーザと同じ出力波長 (193.4 nm) のパルス紫外光を得ることができる。したがって、本第 2 の実施形態では、波長変換の段階数を、図 4 等 に示されるエルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器から出力された光だけを基本波とする波長変換の段階数 5 から 4 に減らすことができるので、波長変換効率をさらに高くすることができるという利点がある。

【0180】

なお、図 11 (a)、図 11 (b)、図 12 (a)、図 12 (b)、及び図 13 に示されるような構成を有する波長変換器 163 では、第 2 基本波として、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器から出力される光の代わりに、Tm (ツリウム)、若しくは Ho (ホロミウム) が添加されたファイバ光増幅器から出力される光を用いても良い。出力波長が前述のように 1.5 μm 帯であるエルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器でなく、出力波長が 2 μm 帯であるツリウム (又はホロミウム) ・ドープ・ファイバ光増幅器を適用した場合には、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器から出力される光の波長は、1070 nm となり、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器が、この波長域の光を出力する場合には、出力波長が 1105 nm である場合よりも、蛍光の断面積を大きくすることができ、高ピークパワーの増幅に有利となる。

【0181】

また、上述した波長変換器 163 は、ArF エキシマレーザの発振波長と略同一の波長 (193.4 nm) の光が得られるものであったが、本第 2 の実施形態では、この波長変換器 163 の構成を変更すれば、KrF エキシマレーザの発振波長 (248 nm 近傍) や F₂ レーザの発振波長 (157 nm 近傍) と略同一の波長を得ることもできるようになる。

【0182】

図 14 には、第 1 基本波 (波長 1095 nm) の 3 倍波と、第 2 基本波 (波長 1546.9 nm) の 2 倍波との和周波発生により、KrF エキシマレーザの発振波長と略同一の波長 248 nm を発生して出力する波長変換器 163 の構成が示されている。図 14 に示されるように、光増幅器 191₁ から出力された波長 1095 nm (周波数 ω_1) の第 1 基本波は、集光レンズ 182 A を介して、1 段目の非線形光学結晶 183 A に入射する。こ

の第1基本波がこの非線形光学結晶183Aを通過する際に、2次高調波発生により、その第1基本波の周波数 ω_1 の2倍、すなわち周波数 $2\omega_1$ （波長は $1/2$ の547.5nm）の2倍波が発生する。この1段目の非線形光学結晶183Aとして、 LiB_3O_5 （LBO）結晶が用いられ、その基本波を2倍波に波長変換するための位相整合にLBO結晶の温度調節による方法、NCPM（Non-Critical Phase Matching）が使用される。

【0183】

非線形光学結晶183Aで波長変換されずに透過した第1基本波と、非線形光学結晶183Aの波長変換で発生したその2倍波とは、次段の波長板184でそれぞれ半波長、1波長の遅延が与えられる。そして、第1基本波のみ、その偏光方向が90度回転するようになる。これにより、その第1基本波及びその2倍波の偏光方向が一致するようになる。波長板184を通過した第1基本波とその2倍波は、集光レンズ182Bを介した後に、2段目の非線形光学結晶183Bに入射する。2段目の非線形光学結晶183Bとして、例えば1段目の非線形光学結晶（LBO結晶）183Aとは異なる温度でNCPMにより位相整合が行われるLBO結晶が用いられる。この非線形光学結晶183Bでは、1段目の非線形光学結晶183Aで発生した2倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶183Aを透過した基本波との和周波発生により、3倍波（波長365.0nm）が得られる。

【0184】

光増幅器161₁から出力された波長1546.9nm（周波数 ω_2 ）の第2基本波は、3段目の非線形光学結晶183Cに入射する。この第2基本波がこの非線形光学結晶183Cを通過する際に、2次高調波発生により、その第2基本波の周波数 ω_2 の2倍、すなわち周波数 $2\omega_2$ （波長は $1/2$ の773.5nm）の2倍波が発生する。

【0185】

非線形光学結晶183Bで得られた第1基本波の3倍波は、集光レンズ182Cを通過後、ダイクロイック・ミラー185Aにより反射され、非線形光学結晶183Cで発生した第2基本波の2倍波と同軸に合成され、4段目の非線形光学結晶183Dに入射する。4段目の非線形光学結晶183Dとしては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ （CLBO）結晶が用いられる。この非線形光学結晶183Dでは、第1基本波の3倍波と第2基本波の2倍波との和周波発生により波長248.0nmの光が得られる。なお、この波長変換器163における波長変換は、3段階と少ないため、高い波長変換効率が得られる。また、耐性の高い結晶のみで波長変換器を構成することができるので、出力レベルの高い光を得ることができる。

【0186】

図15には、第1基本波（波長1119nm）の5倍波と、第2基本波（波長1599nm）の3倍波との和周波発生により、 F_2 レーザの発振波長と略同一の波長157.6nmを発生して出力する波長変換器163の構成が示されている。図15に示されるように、非線形光学結晶183Dにおいて、第1基本波の5倍波と第2基本波との和周波発生により波長193.4nmの光が得られるまでの構成は、図11(a)に示される波長変換器の構成と同一である。但し、図15では、光増幅器191₁から入力される第1基本波の波長は1119nmとし、光増幅器161₁～161₃から入力される第2基本波の波長は1599nmであるとする。

【0187】

非線形光学結晶183Dで発生した第1基本波の5倍波と第2基本波との和周波は、集光レンズ182Gを通過後、ダイクロイック・ミラー185Fにより反射され、光増幅器161₂から出力され集光レンズ182Hを通過した波長1599nm（周波数 ω_2 ）の第2基本波と同軸に合成され、5段目の非線形光学結晶183Eに入射する。

【0188】

5段目の非線形光学結晶183Eとしては、CBO結晶が用いられる。この非線形光学結晶183Eでは、第1基本波の5倍波と第2基本波の2倍波との和周波（波長174.8

10

20

30

40

50

nm) が得られる。なお、CBO結晶183Eの代わりにKBFB結晶を用いることも可能である。

【0189】

非線形光学結晶183Eで発生した第1基本波の5倍波と第2基本波の2倍波との和周波は、集光レンズ182Iを通過後、ダイクロイック・ミラー185Gにより反射され、光増幅器161₃から出力され集光レンズ182Jを通過した波長1599nm(周波数 ω_2)の第2基本波と同軸に合成され、6段目の非線形光学結晶183Fに入射する。非線形光学結晶183Fでは、第1基本波の5倍波と第2基本波の3倍波との和周波(波長157.6nm)が得られる。なお、非線形光学結晶183Fには、擬似位相整合結晶である前述のBMF結晶が用いられる。なお、ここでも、BMF結晶は、第2基本波(1599nm)と、第1基本波の5倍波と第2基本波の2倍波との和周波(174.8nm)という波長が著しく異なる2つの光を入射光としているため、BMF結晶の周期 Λ を3 μ m程度とすることができ、BMF結晶の製造が容易となる。

10

【0190】

以上詳細に述べたように、本第2の実施形態の光源装置では、波長が異なる2つの光(第1基本波、第2基本波)を入射光として、それらの波長の高調波以外の波長の光、を作り出すことができるようになるので、出力する光の波長の選択範囲を広げることができる。特に、KrFエキシマレーザの発振波長と略同一の波長の光は、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器のみ、あるいは、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器のみから出力された光を基本波とする波長変換だけでは、作りだせない波長の光であったが、図14に示される波長変換器163等を用いた波長変換によって、この波長の光を作り出すことが可能となった。

20

【0191】

なお、本実施形態の光源装置では、第1基本波を出力する光出力装置として、イッテルビウム・ドープ・ファイバ増幅器を用い、第2基本波を出力する光出力装置として、エルビウム・ドープ・ファイバ増幅器を用いた。イッテルビウムはエルビウムに比べて10倍以上の高濃度添加が可能である。したがって、イッテルビウム・ドープ・ファイバは、エルビウム・ドープ・ファイバよりも短尺化することが可能となる。ファイバが短尺化されると、ラマン散乱、4光波混合が発生しにくくなるので、高いピークパワーを得ることが可能となり、ファイバ中で発生するSPM(自己位相変調)によるスペクトル拡がりの影響も少なくなる。以上のことから、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器では、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器よりも、発生する光の狭帯域化が容易となる。また、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器は、入射光の波長が1060nm以上では、4準位系に近いふるまいをするので、高出力化に有利である。したがって、本実施形態では、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器のみを用いる構成よりも、はるかに高出力かつ狭帯域の光を得ることが可能となる。

30

【0192】

なお、上述のイッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器やエルビウム・ドープ光ファイバ増幅器から出力された光を基本波として波長変換を行う波長変換器163の構成の他の例が図16～図18に示されている。

40

【0193】

このうち、図16には、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器191₁から出力された光(波長1103.2nm)を基本波として、157.6nmの波長の光を出力する波長変換器163の構成が示されている。図16に示されるように、光増幅器191₁から出力された波長1103.2nm(周波数 ω)の基本波は、集光レンズ182Aを介して、1段目の非線形光学結晶183Aに入射する。この基本波がこの非線形光学結晶183Aを通過する際に、2次高調波発生により、その基本波の周波数 ω の2倍、すなわち周波数 2ω (波長は $1/2$ の551.6nm)の2倍波が発生する。この1段目の非線形光学結晶183Aとして、LiB₃O₅(LBO)結晶が用いられ、その基本波を2倍波に波長変換するための位相整合にLBO結晶の温度調節による方法、NCPM(Non-C

50

ritical Phase Matching) が使用される。

【0194】

非線形光学結晶 183A で波長変換されずに透過した基本波は、ダイクロイック・ミラー 185A で反射されるが、非線形光学結晶 183A の波長変換で発生した 2 倍波は、ダイクロイック・ミラー 185A を透過し、集光レンズ 182B を介して非線形光学結晶 183B に入射する。

【0195】

この 2 倍波がこの非線形光学結晶 183B を通過する際に、2 次高調波発生により、その基本波の周波数 ω の 4 倍、すなわち周波数 4ω (波長は $1/4$ の 275.8 nm) の 4 倍波が発生する。なお、2 段目の非線形光学結晶 183B としては、CsLiB₆O₁₀ (CLBO) 結晶や CBO 結晶が用いられる。 10

【0196】

非線形光学結晶 183B で波長変換されずに透過した 2 倍波は、ダイクロイック・ミラー 185B、ミラー 185D で反射され、集光レンズ 182C を介してダイクロイック・ミラー 185E を透過する。また、非線形光学結晶 183B の波長変換で発生した 4 倍波は、ダイクロイック・ミラー 185B を透過し、ミラー 185C で反射された後、ダイクロイック・ミラー 185E で反射され、ダイクロイック・ミラー 185E を透過した 2 倍波と同軸に合成され、非線形光学結晶 183C に入射する。3 段目の非線形光学結晶 183C としては、KBBF (KBe₂BO₃F₂; Potassium fluoroborate) が用いられ、その結晶に入射した 2 倍波と 4 倍波との和周波発生により、6 倍波 (波長 183.9 nm) が得られる。 20

【0197】

非線形光学結晶 183A で波長変換されずに透過した基本波は、ダイクロイック・ミラー 185A → ミラー 185F → ミラー 185G で反射され、集光レンズ 182F を通過して、ダイクロイック・ミラー 185H を透過する。非線形光学結晶 183C で得られた 6 倍波は、集光レンズ 182E を通過後、ダイクロイック・ミラー 185H によって、その基本波と同軸に合成され、非線形光学結晶 183D に入射する。

【0198】

4 段目の非線形光学結晶 183D としては、前述の BaMgF₄ (BMF) 結晶が用いられ、基本波と 6 倍波との和周波発生により、7 倍波 (波長 157.6 nm) が得られる。 30
ここでも、基本波と 6 倍波とが入射光となっているため、BMF 結晶の周期 Λ を 2.3 μ m 程度として、その結晶の製造を容易とすることができる。なお、従来のように、4 倍波と 3 倍波とを入射光とする場合には、BMF 結晶の周期 Λ を 1 μ m 程度にしなければならず、非常に製造が困難であった。なお、得られた 7 倍波は、集光レンズ 182G を通過し、波長変換器 163 から出力される。

【0199】

図 17 には、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器 191₁ から出力された光 (波長 1095 nm) を基本波として、1 線の波長 (365 nm) の波長の光を出力する波長変換器 163 の構成が示されている。

【0200】

図 17 に示されるように、光増幅器 191₁ から出力された波長 1095 nm の基本波は、集光レンズ 182A を介して、1 段目の非線形光学結晶 183A に入射される。この基本波がこの非線形光学結晶 183A を通過する際に、2 次高調波発生により、その基本波の周波数 ω の 2 倍、すなわち周波数 2ω (波長は $1/2$ の 547.5 nm) の 2 倍波が発生する。この 1 段目の非線形光学結晶 183A として、LiB₃O₅ (LBO) 結晶が用いられ、その基本波を 2 倍波に波長変換するための位相整合に LBO 結晶の温度調節による方法、NCPM (Non-Critical Phase Matching) が使用される。

【0201】

非線形光学結晶 183A で波長変換されずに透過した基本波と、非線形光学結晶 183A 50

の波長変換で発生した2倍波とは、次段の波長板184でそれぞれ半波長、1波長の遅延が与えられる。そして、基本波のみ、その偏光方向が90度回転するようになる。これにより、その基本波及び2倍波の偏光方向が一致するようになる。波長板184を通過した基本波と2倍波は、集光レンズ182Bを介した後に、2段目の非線形光学結晶183Bに入射する。2段目の非線形光学結晶183Bとして、例えばLiBO結晶やCBO結晶が用いられる。この非線形光学結晶183Bでは、1段目の非線形光学結晶183Aで発生した2倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶183Aを透過した基本波との和周波発生により、3倍波（波長365.0nm）が得られる。そして、高出力かつ狭帯域の3倍波が集光レンズ182Cを介して出力される。

【0202】

図18には、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器161₁から出力された光（波長1546.9nm）を基本波として、193.4nmの波長の光を出力する波長変換器163の構成が示されている。

【0203】

図18に示されるように、光増幅器161₁から出力された波長1546.9nm（周波数 ω ）の基本波は、集光レンズ182Aを介して、1段目の非線形光学結晶183Aに入射する。この基本波がこの非線形光学結晶183Aを通過する際に、2次高調波発生により、その基本波の周波数 ω の2倍、すなわち周波数 2ω （波長は $1/2$ の773.5nm）の2倍波が発生する。この1段目の非線形光学結晶183Aとして、LiB₃O₅（LiBO）結晶が用いられ、その基本波を2倍波に波長変換するための位相整合にLiBO結晶の温度調節による方法、NCPM（Non-Critical Phase Matching）が使用される。

【0204】

非線形光学結晶183Aで波長変換されずに透過した基本波と、非線形光学結晶183Aの波長変換で発生した2倍波とは、次段の波長板184Aでそれぞれ半波長、1波長の遅延が与えられる。そして、基本波のみ、その偏光方向が90度回転するようになる。これにより、その基本波及び2倍波の偏光方向が一致するようになる。波長板184Aを通過した基本波と2倍波は、集光レンズ182Bを介した後に、2段目の非線形光学結晶183Bに入射される。2段目の非線形光学結晶183Bとして、例えばLiBO結晶が用いられるとともに、そのLiBO結晶は1段目の非線形光学結晶（LiBO結晶）183Aとは異なる温度でNCPMにより位相整合が行われる。この非線形光学結晶183Bでは、1段目の非線形光学結晶183Aで発生した2倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶183Aを透過した基本波との和周波発生により、3倍波（波長515.6nm）が得られる。

【0205】

次に、非線形光学結晶183Bで得られた3倍波は、ダイクロイック・ミラー185A、集光レンズ182Cを介して、3段目の非線形光学結晶183Cに入射する。そして、この3倍波がこの3段目の非線形光学結晶183Cを通る際に、その3倍波の2次高調波発生により基本波の周波数 ω の6倍、すなわち周波数 6ω （波長は $1/6$ の257.8nm）の6倍波が発生する。この3段目の非線形光学結晶183Cとしては、例えば β -BaB₂O₄（BBO）結晶又はCsLiB₆O₁₀（CLBO）結晶が用いられる。

【0206】

非線形光学結晶183Cで得られた6倍波は、ミラー185Cにより反射されて集光レンズ182Eを通過する。そして、その6倍波は、ダイクロイック・ミラー185A→ミラー185B→集光レンズ182Dと迂回してきた基本波とダイクロイック・ミラー185Dにおいて同軸に合成され、4段目の非線形光学結晶183Dに入射する。4段目の非線形光学結晶183Dとしては、CsB₃O₅（CBO）結晶が用いられる。

【0207】

非線形光学結晶183Dで得られた7倍波とそれを透過した基本波とは、ダイクロイック・ミラー185Eにより分離される。ここを透過した基本波は、ミラー185Fで反射さ

10

20

30

40

50

れ、波長板 184 B、集光レンズ 182 F を通過してダイクロイック・ミラー 185 H を透過する。そして、ダイクロイック・ミラー 185 E で反射された 7 倍波は、ミラー 185 G で反射され、集光レンズ 182 G を通過してダイクロイック・ミラー 185 H で反射される。そして、その基本波と 7 倍波は、ダイクロイック・ミラー 185 H で同軸に合成され、5 段目の非線形光学結晶 183 E に入射する。なお、7 倍波のビーム整形用として、集光レンズ 182 G の代わりにシリンドリカルレンズ対を用いることも可能である。

【0208】

5 段目の非線形光学結晶 183 E としては、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶が用いられ、基本波と 7 倍波との和周波発生により、8 倍波 (波長 193.4 nm) が得られる。

10

【0209】

なお、上記実施形態では、複数の光増幅器 161₁、191₁ などから出力された光を基本波として用いるため、それらのタイミングを調整する必要がある。そのため、各光増幅器のうちの少なくとも一部の増幅器と、波長変換器 163 との間には、その装置から波長変換器 163 へ入力される光の進行を所定時間遅延させる遅延装置が挿入されるようにしてもよいし、例えば、図 10 のレーザ光源 160 A とレーザ光源 190 A において、波長変換器 163 に入力される各基本波のタイミングを調整できるようにしてもよい。

【0210】

また、上記実施形態では、レーザ光源 160 A、190 A を連続光源としたが、パルス光源とすることもできる。かかる場合には、光アイソレータ 160 B、190 B と光増幅器 161₁、191₁ との間の電気光学変調器 160 C、190 C を配置しなければ、上記の実施形態に係る光源装置 16、16' と同様の出力光を得ることができる。

20

【0211】

また、上記実施形態では、レーザ光源 160 A、190 A として DFB レーザを使用した。これに限定されるものではなく、他の半導体レーザを使用することができる。例えば、外部共振器構成の半導体レーザを使用することもできるし、また、分布反射型 (DBR) レーザ等の他の外部共振器構成でない半導体レーザを使用することもできるし、チタンサファイヤレーザや、イッテルビウム・ドープ・ファイバ・レーザ等のファイバ・レーザを使用することもできる。

【0212】

また、上記実施形態では、波長変換器から出力される光の波長を ArF エキシマレーザ、KrF エキシマレーザの発振波長、i 線の波長など特定の波長としたが、本発明はこれに限定されるものではなく、波長変換器 163 における非線形光学結晶等の設定や、入射する光の波長の設定を変更することにより、90 nm ~ 800 nm の任意の波長の光を出力することができる。その所定波長は、一例として、ウエハ W 上に転写すべきパターンのデザインルール (線幅、ピッチなど) に応じて決定するようにしてもよく、さらにはその決定に際して前述の露光条件や、レチクル R の種類 (位相シフト型か否か) などを考慮してもよい。

30

【0213】

また、上記実施形態では、波長変換器 163 に基本波を出力する光出力装置を全てファイバ光増幅器としたが、本発明はこれに限定されず、所望の波長の光を出力できる装置であれば、Nd:YAG レーザ等のレーザ光源であってもよい。

40

【0214】

また、図 3 に示される光増幅部 161₁ において並列に配置される光ファイバ増幅器 167 の数は任意でよく、本発明に係る光源装置が適用される製品において要求される仕様に応じてその本数を決定すればよい。特に、光源装置として高出力を要求されない場合には、光ファイバ増幅器 167 の数を減らして、構成を簡略化することができる。なお、光ファイバ増幅器 167 を 1 つのみ含むように簡略化するときは、光分岐器 166 も不要となる。また、上記の実施形態では、光増幅器として光ファイバ増幅器 167 を使用したが、半導体光増幅器を使用することもできる。

50

【0215】

また、上記実施形態では、波長変換器163における非線形光学結晶として、CLBO結晶、BBO結晶などを使用したが、CLBO結晶やBBO結晶の潮解性が問題となる場合には、周囲雰囲気窒素や乾燥空気などでパージしたり、CLBO結晶やBBO結晶を高温に温度調節してやればよい。

【0216】

また、上記実施形態では、本発明に係る光源装置がステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に適用された場合について説明したが、露光装置以外でデバイス製造工程などに用いられる装置、例えば、ウエハ上に形成された回路パターンの一部（ヒューズなど）を切断するために用いられるレーザリペア装置などにも本発明に係る光源装置を適用することができる。また、本発明は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に限らず、静止露光型、例えばステップ・アンド・リピート方式あるいはステップ・アンド・ステッチ方式の露光装置、プロキシミティー方式の露光装置、ミラープロジェクション・アライナー、例えば国際公開WO99/49504などに開示される、投影光学系PLとウエハとの間に液体（例えば純水など）が満たされる液浸型露光装置などにも適用できる。なお、上記実施形態の露光装置は、例えば特開平10-214783号公報や国際公開WO98/40791号などに開示されているように、投影光学系を介してレチクルパターンの転写が行われる露光位置と、ウエハアライメント系によるマーク検出が行われる計測位置（アライメント位置）とにそれぞれウエハステージを配置して、露光動作と計測動作とをほぼ並行して実行可能なツイン・ウエハステージタイプでも良い。

【0217】

また、上記実施形態では、本発明に係る光源装置が露光用照明光を発生する光源装置として使用される例を説明したが、露光用照明光とほぼ同一の波長の光を必要とする上述のレチクルアライメント用の光源装置、あるいは投影光学系の物体面又は像面に配置されるマークの投影像を検出して当該投影光学系の光学特性求める空間像検出系の光源装置等として使用することも可能である。

【0218】

なお、本発明の光源装置は、露光装置以外にも様々な装置に利用することができる。例えば、レーザ光を角膜に照射して表面のアブレーション（あるいは切開した角膜内部のアブレーション）を行い、角膜の曲率若しくは凹凸を矯正して近視、乱視などの治療を行うレーザ治療装置に使用される光源装置として利用することができる。また、光学式検査装置等における光源装置としても、本発明の光源装置は利用可能である。

【0219】

また、本発明の光源装置は、上記の実施形態における投影光学系のような光学系の光学調整（光軸合わせ等）用又は検査用としても利用可能である。さらには、エキシマレーザを光源として有する各種装置において、エキシマレーザに置き換えて本発明の光源装置を適用できる。

【0220】

なお、図2に示された光源装置16の構成は図1の露光装置10における使用を前提としたものであって、光源装置16は、図2の構成に限られるものではない。露光装置では、高精度な波長制御や光量制御等が必要となるが、例えば、露光装置以外で厳密な光量制御等が不要であれば、光量モニタや光量制御装置16Cを設けなくともよい。

【0221】

次に、本実施形態の露光装置及び方法を使用したデバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造について説明する。

【0222】

まず、設計ステップにおいて、デバイスの機能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、マスク製作ステップにおいて、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ウエハ製造ス

テップにおいて、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

【0223】

次に、ウエハ処理ステップにおいて、上記のステップで用意されたマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路等を形成する。

【0224】

このウエハ処理ステップは、例えば、半導体デバイスの製造にあたっては、ウエハの表面を酸化させる酸化ステップ、ウエハ表面に絶縁膜を形成するCVDステップ、ウエハ上に電極を蒸着によって形成する電極形成ステップ、ウエハにイオンを打ち込むイオン打込みステップといったウエハプロセスの各段階の前処理工程と、後述する後処理工程を有している。前処理工程は、ウエハプロセスの各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。 10

【0225】

ウエハプロセスの各段階において、前処理工程が終了すると、レジスト処理ステップにおいてウエハに感光剤が塗布され、引き続き、露光ステップにおいて上記で説明した露光装置10によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。次に、現像ステップにおいて露光されたウエハが現像され、引き続き、エッチングステップにおいて、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、レジスト除去ステップにおいて、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

【0226】

以上のようにして、前処理工程と、レジスト処理ステップからレジスト除去ステップまでの後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。 20

【0227】

こうしてウエハ処理ステップが終了すると、組立ステップにおいて、ウエハ処理ステップにおいて処理されたウエハを用いてチップ化する。この組み立てには、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）やパッケージング工程（チップ封入）等の工程が含まれる。

【0228】

最後に、検査ステップにおいて、組立ステップで作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。 30

【0229】

以上のようにして、精度良く微細なパターンが形成されたデバイスが、高い量産性で製造される。

【0230】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明の光源装置によれば、数段階の波長変換を経て出力レベルが減衰した基本波でなく、他の光出力装置から得られた基本波を用いて各段階の波長変換を実行することができるので、波長変換効率が向上し、光出力装置のピークパワーを抑制することができ、光出力装置から出力される光の波長をさらに狭帯域化することができる。 40

【0231】

また、本発明の光照射装置によれば、本発明の光源装置から射出された光を、照射光学系を介して対象物に照射するので、効率良く波長変換された光を対象物に照射することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の光源装置の内部構成を主制御装置とともに示すブロック図である。

【図3】図2の光増幅器を構成する光ファイバ増幅器及びその周辺部を、波長変換器の一部とともに概略的に示す図である。

【図 4】波長 193.4 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例を示す図である。

【図 5】波長 193.4 nm の光が得られる波長変換器の構成の他の例を示す図である。

【図 6】図 6 (a) は、波長変換器の構成の変形例 (その 1) を示す図、図 6 (b) は、波長変換器の構成の変形例 (その 2) を示す図である。

【図 7】図 7 (a) は、波長変換器の構成の変形例 (その 3) を示す図、図 7 (b) は、波長変換器の構成の変形例 (その 4) を示す図である。

【図 8】波長 157.6 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例を示す図である。

【図 9】QPM 素子の構造を示す図である。

【図 10】本発明の第 2 の実施形態の光源装置の内部構成を主制御装置とともに示すブロック図である。

10

【図 11】図 11 (a) は、波長 193.4 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例 (その 1) を示す図、図 11 (b) は、波長 193.4 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例 (その 2) を示す図である。

【図 12】図 12 (a) は、波長 193.4 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例 (その 3) を示す図、図 12 (b) は、波長 193.4 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例 (その 4) を示す図である。

【図 13】波長 193.4 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例 (その 5) を示す図である。

【図 14】波長 248 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例を示す図である。

【図 15】波長 157.6 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例を示す図である。

20

【図 16】イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器から出力された光を基本波とし、波長 157.6 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例を示す図である。

【図 17】波長 365 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例を示す図である。

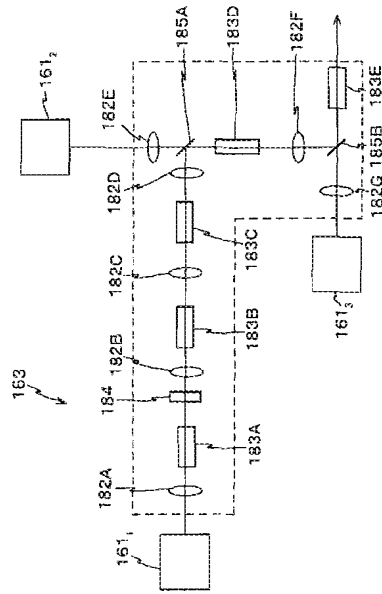
【図 18】エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器から出力された光を基本波とし、波長 193.4 nm の光が得られる波長変換器の構成の一例を示す図である。

【符号の説明】

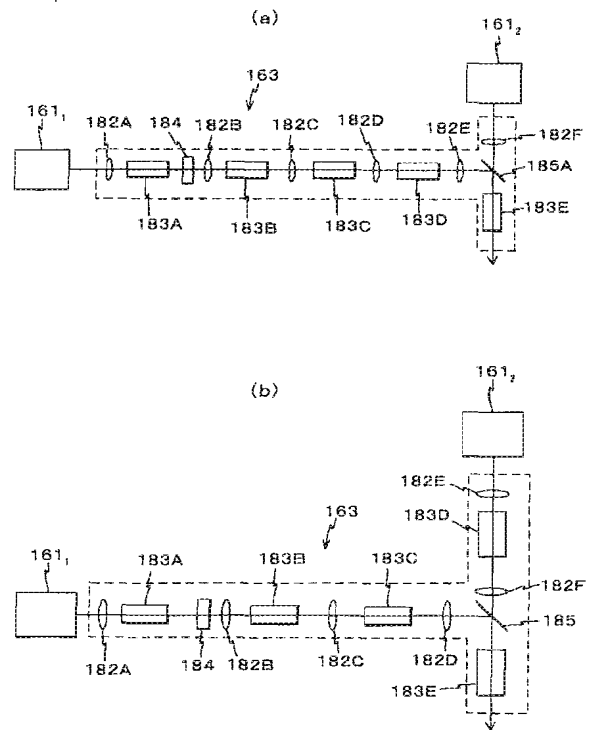
10 … 露光装置、16 … 光源装置、16' … 光源装置、161₁ … 光増幅器、161₂ … 光増幅器、191₁ … 光増幅器、163 … 波長変換器、183A … 非線形光学結晶、183B … 非線形光学結晶、183C … 非線形光学結晶、183D … 非線形光学結晶、183E … 非線形光学結晶、183F … 非線形光学結晶、183' … QPM 素子。

30

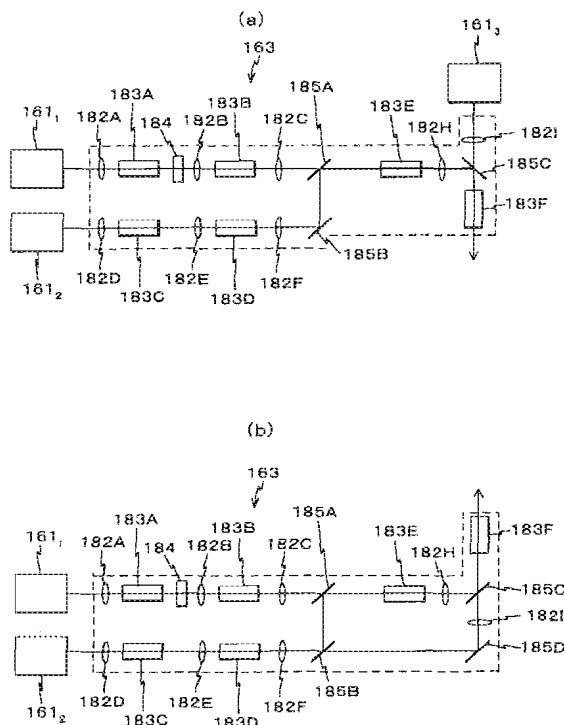
【図 5】



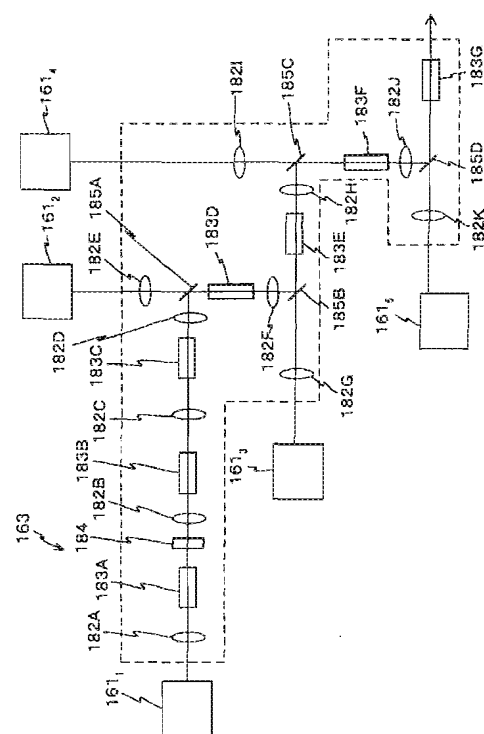
【図 6】



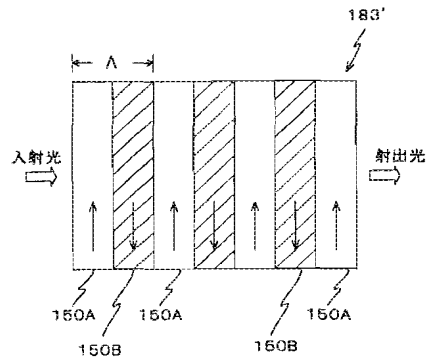
【図 7】



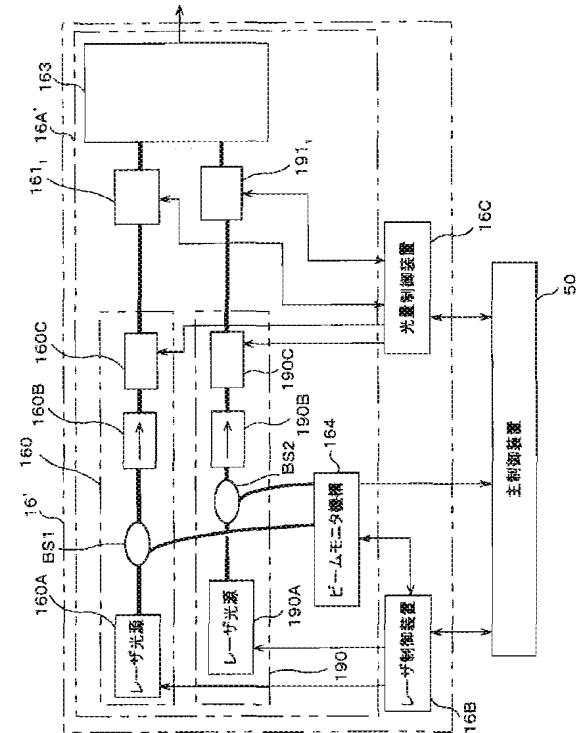
【図 8】



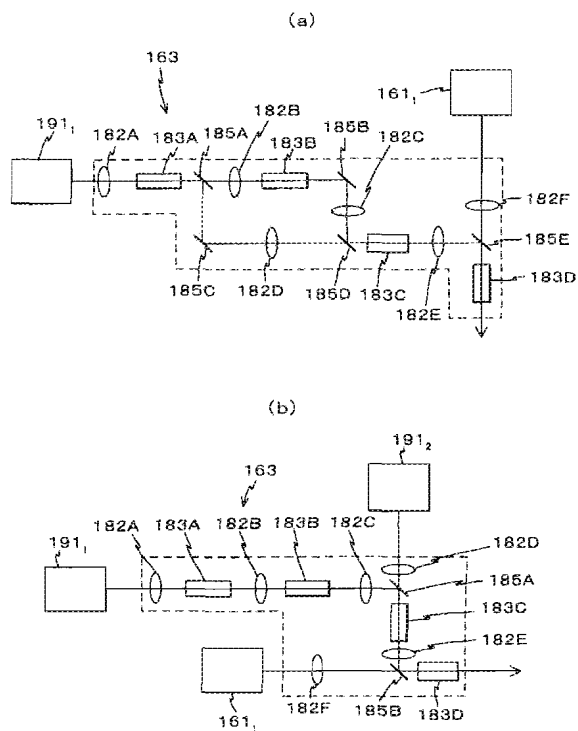
【図 9】



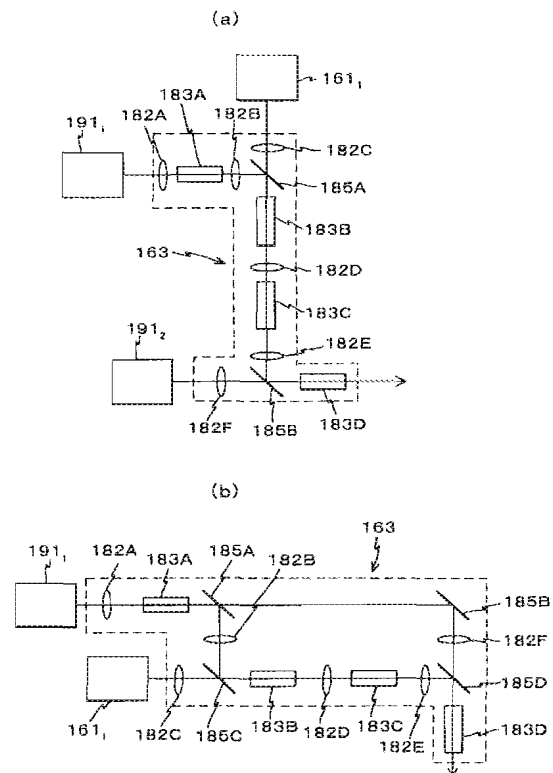
【図 10】



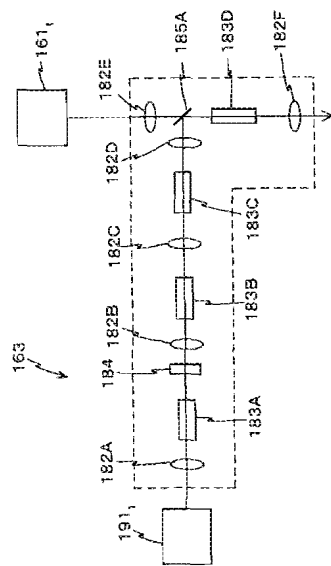
【図 11】



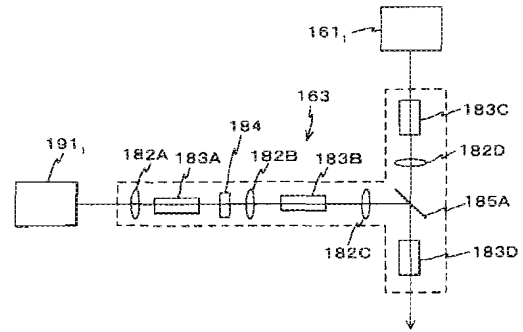
【図 12】



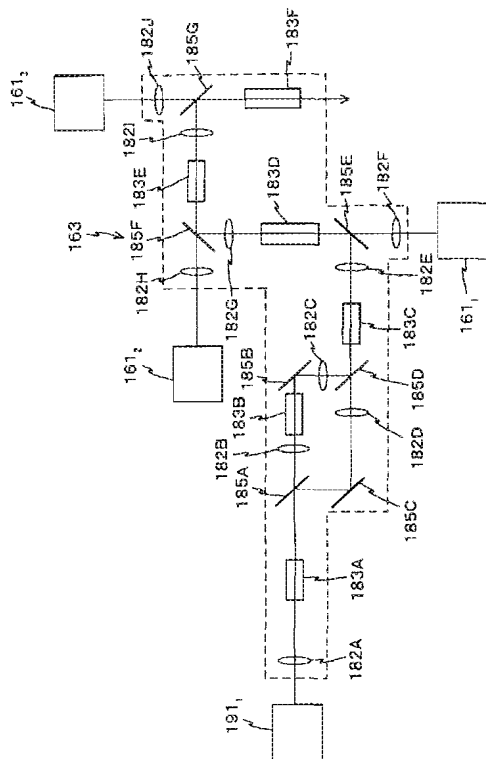
【図 13】



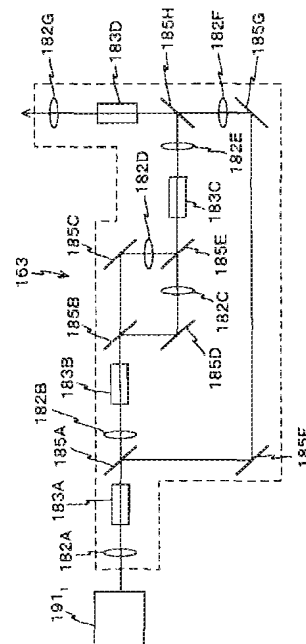
【図 14】



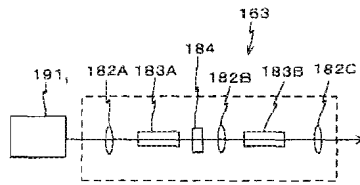
【図 15】



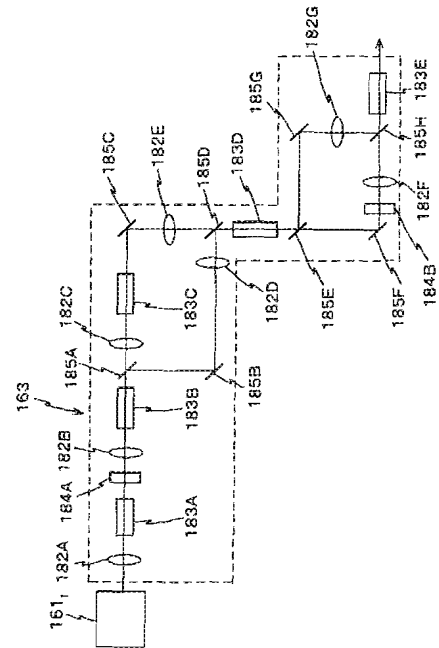
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H097 AA03 AB09 BA10 BB02 CA13 EA01 GB01 LA10
2K002 AA04 AB12 BA02 CA02 CA03 CA04 EA30 GA07 HA20
5F046 BA05 CA03 CA10
5F072 AB07 AB09 AK06 HH02 JJ04 JJ13 PP07 QQ02 YY01 YY09
YY20